



Universidad Científica del Perú - UCP

*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO
POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN
EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M.Sc.

AUTOR:

SABOYA OLANO, Claudia

CACHIQUE CHUJUTALLI, Tony

**TARAPOTO – PERÚ
2022**

DEDICATORIA

Dedico de todo corazón mi tesis a mis padres, que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica. A mis hermanos que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo, muchas veces poniéndose en el papel de padre. por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Claudia Saboya Olano

Esta tesis está dedicada a:

A Dios, por ser mi guía espiritual y darme la sabiduría para poder alcanzar mis objetivos, a mis padres, que incansablemente me motivaron, apoyaron emocional y moralmente, que me enseñaron a no rendirme nunca. A mis hijos porque son mi motor y motivo en todo momento y a todas aquellas personas que de alguna manera coadyuvaron para lograr mis metas

Tony Cachique Chujutalli

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quien me ha guiado y me dado la fortaleza para seguir adelante, a mis padres por su comprensión y estímulo constante además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

AL ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. Sc, asesor de tesis.

A mis profesores quienes me guiaron y enseñaron durante toda mi carrera profesional de la facultad de ingeniería civil.

Claudia Saboya Olano

Siempre Agradezco a Dios por ser mi guía, brindarme salud y vida, por darme la sabiduría para tomar las decisiones correctas en mi día a día.

A mis hijos Samin Amir, Shaila Jameela y a David Aarif por ser mis principales motivos para culminar esta maravillosa y digna carrera de Ingeniería Civil.

Al Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. SC, asesor de tesis.

A la Facultad de ciencias e ingeniería y a mis docentes que con sus enseñanzas me dieron la oportunidad para poder desarrollarme como profesional y ejercerla con ética y moral ante la sociedad.

Tony Cachique Chujutalli

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

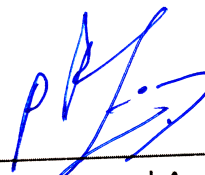
La Tesis titulada:

**“DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL
DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

De los alumnos: **SABOYA OLANO CLAUDIA Y CACHIQUE CHUJUTALLI TONY**, de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **21% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 23 de Enero del 2023.



Dr. César J. Ramal Asayag
Presidente del Comité de Ética – UCP

Document Information

Analyzed document	UCP_ingenieria_2022_Tesis_ClaudiaSaboya_TonyCachique_V2.pdf (D156351061)
Submitted	1/19/2023 6:11:00 PM
Submitted by	Comisión Antiplagio
Submitter email	revision.antiplagio@ucp.edu.pe
Similarity	21%
Analysis address	revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1743/PANDURO%20SABOYA%20SEGUNDO%20JAVIER%20... Fetched: 6/29/2022 4:10:45 PM		17
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍA CIVIL_2021_TESIS_SEGUNDOPANDURO_RAFAELSINTI_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍA CIVIL_2021_TESIS_SEGUNDOPANDURO_RAFAELSINTI_V1.pdf (D118005931) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		24
W	URL: http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1743/PANDURO%20SABOYA%20SEGUNDO%20JAVIER%20... Fetched: 12/2/2022 1:29:12 AM		1
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍA_2021_TESIS_ROSSANAPRADO_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍA_2021_TESIS_ROSSANAPRADO_V1.pdf (D108181258) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		3
SA	Ticonam_MallcoF_T3 corregido.docx Document Ticonam_MallcoF_T3 corregido.docx (D119957469)		1
SA	CIVIL_2019_PT_GarcíaCarlosCórdovaJorden_V1.pdf Document CIVIL_2019_PT_GarcíaCarlosCórdovaJorden_V1.pdf (D49341575)		1
SA	MORALES LOAYZA, LUZ LISBET.pdf Document MORALES LOAYZA, LUZ LISBET.pdf (D142103852)		13
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERÍA CIVIL_2021_TESIS_DARLINSAAVEDRA_JAVIERPAZ_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍA CIVIL_2021_TESIS_DARLINSAAVEDRA_JAVIERPAZ_V1.pdf (D93542473) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		1
SA	Universidad Científica del Perú / UCP_INGENIERIA CIVIL_2020_TESIS_LISBETH SOTO_GENITH SOPAN_V1.pdf Document UCP_INGENIERIA CIVIL_2020_TESIS_LISBETH SOTO_GENITH SOPAN_V1.pdf (D75624869) Submitted by: revision.antiplagio@ucp.edu.pe Receiver: revision.antiplagio.ucp@analysis.arkund.com		1
SA	TESIS ACTUALIZADA.pdf Document TESIS ACTUALIZADA.pdf (D124866447)		1

“Año de Unidad, la Paz y el Desarrollo”
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

**FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Con Resolución Decanal N° 1157-2022-UCP-FCEI del 16 de diciembre del 2022, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador de la sustentación de tesis a los señores:

- | | |
|--|------------|
| • Ing. Caleb Rios Vargas, Dr. | Presidente |
| • Ing. Luis Armando Cuzco Trigozo, M.SC. | Miembro |
| • Ing. Alberto Alva Arévalo, Dr. | Miembro |

Como Asesor: **Ing. Enrique Napoleón Martínez Quiroz, M. Sc.**

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 19:00 horas del día sábado 02 de diciembre del 2023, modo virtual con la plataforma del ZOOM, supervisado en línea por la Secretaria Académica de la Facultad y el Director de Gestión Universitaria de la Filial Tarapoto de la Universidad, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: **“DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO PARA EL CONTROL DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN”**.

Presentado por los sustentantes:

CLAUDIA SABOYA OLANO Y TONY CACHIQUE CHUJUTALLI

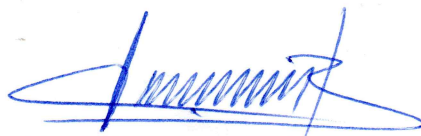
Como requisito para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**

Luego de escuchar la sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: **ABSUELTAS**.

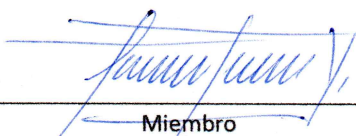
El Jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La sustentación es: **APROBADA POR MAYORÍA CON LA NOTA DE (15) QUINCE.**

En fe de lo cual los miembros del Jurado firman el acta.



Presidente



Miembro



Miembro

Contáctanos:

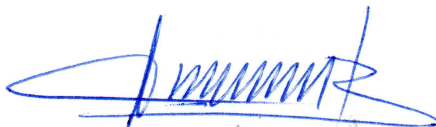
Iquitos – Perú
065 - 26 1088 / 065 - 26 2240
Av. Abelardo Quiñones Km. 2.5

Filial Tarapoto – Perú
42 – 58 5638 / 42 – 58 5640
Leoncio Prado 1070 / Martines de Compagñón 933

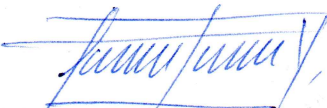
Universidad Científica del Perú
www.ucp.edu.pe

APROBACIÓN

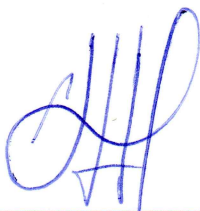
Tesis sustentada en acto público el día 02 de diciembre del 2023 a las 07.00 p.m.



Ing. CALEB RÍOS VARGAS, Dr.
PRESIDENTE DEL JURADO



Ing. LUIS ARMANDO CUZCO TRIGOZO, M.Sc.
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. ALBERTO ALVA ARÉVALO, Dr.
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. ENRIQUE NAPOLEÓN MARTÍNEZ QUIROZ, M.Sc.
ASESOR

ÍNDICE

APROBACIÓN	2
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales:	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales:	8
2.1.3. Antecedentes Locales	14
2.2 Bases Teóricas	15
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	42
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	44
3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	44
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	45
Problema general	45
Problemas específicos	45
3.3 OBJETIVOS	46
3.3.1 Objetivo General	46
3.3.2 Objetivos específicos	46
3.4 JUSTIFICACIÓN	46
3.5 HIPÓTESIS	47
3.5.1 HIPÓTESIS GENERAL	47
3.6 VARIABLES:	47
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	48
1.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	48
1.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	48
1.3 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
1.3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
1.3.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	48
1.3.3 PROCEDIMIENTOS	49
1.3.4 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	49

1.3.5 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	49
1.4 METODOS DE ANALISIS DE DATOS.....	49
1.4.1 ANALISIS DE DATOS.....	49
1.4.2 MEZCLA DE CONCRETO POROSO.....	50
1.4.3 MATERIALES Y DOSIFICACIONES.....	50
1.4.4 MÉTODO PARA ELABORACIÓN DEL MATERIAL.....	50
1.4.5 ENSAYOS SOBRE MATERIAL EN ESTADO FRESCO.....	51
1.4.6 ENSAYO DE ASENTAMIENTO CON TRONCO DE CONO DE ABRAMS DE ACUERDO A NORMA IRAM 1536.....	52
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....	53
5.1 ANALISIS DEL SLUMP.....	53
5.2 ANALISIS Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	53
5.3 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	56
5.4 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE VACÍOS.....	58
5.5 ANALISIS DE PERMEABILIDAD.....	59
5.6 PROPUESTA DE DISEÑO CONCRETO POROSO.....	61
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
6.1 CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	63
6.1.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	63
6.2 DE LOS RESULTADOS DE LAS RESISTENCIAS.....	63
6.3 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	64
6.4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	65
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
7.1 CONCLUSIONES.....	67
7.2 RECOMENDACIONES.....	68
CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
CAPÍTULO IX: ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Concreto Permeable	15
Ilustración 2: Concretos porosos con diferentes contenidos de agua, formados en una pelota: (a) muy poca agua, (b) cantidad de agua adecuada, (c) Mucha agua.	25
Ilustración 3: a) asfalto normal y poroso, b) concreto poroso	28
Ilustración 4: a) Disposición típica de un sistema de pavimento permeable,	29
Ilustración 5: Estructuras modulares con bloques a) juntas, b) aperturas.....	30
Ilustración 6: Estructura del pavimento permeable de infiltración total.	30
Ilustración 7: Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial.....	30
Ilustración 8: Estructura del pavimento permeable de infiltración nula	31
Ilustración 9: Relación entre la Resistencia a la Compresión y el Contenido de Vacíos ...	34
Ilustración 10: Relación entre la resistencia a la flexión y el contenido de vacíos.....	35
Ilustración 11: Relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión .	36
Ilustración 12: Relación entre el grado de infiltración y el contenido de vacíos	36
Ilustración 13: Influencia del tamaño del agregado grueso en el tamaño del poro en las mezclas de concreto permeable de un solo tamaño de agregado.....	38
Ilustración 14: Relación entre el contenido de vacíos y la relación w/c.....	39
Ilustración 15: Influencia del uso de agregado fino en la resistencia a la flexión	40
Ilustración 16: Representación esquemática de la granulometría de los agregados en un ensamble de agregados: (a) tamaño uniforme, (b) granulometría continua, (c) reemplazo de partículas pequeñas por partículas grandes, (d) granulometría discontinua, (e) granulometría.....	41
Ilustración 17: Ensayo de Tronco de cono de Abrams invertido para la serie K	51
Ilustración 18: Ensayo de asentamiento para la serie K	52
Ilustración 19: Evaluación de posible segregación de pasta en la serie K.....	52
Ilustración 20: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños.....	58
Ilustración 21: Permeabilidad promedio con respecto al diseño de especímenes	60
Ilustración 22: Propuesta de Pavimento Propuesto.....	61
Ilustración 23: Resultados de Resistencia a la Compresión	64
Ilustración 24: Resultados de Resistencia a la Flexión.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis de Slump del Concreto Poroso	53
Tabla 2: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la compresión	54
Tabla 3: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo.....	54
Tabla 4: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la flexión.....	57
Tabla 5: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo.....	57
Tabla 6: Densidad y Relación de Vacíos de los especímenes	59
Tabla 7: Permeabilidad de los especímenes	60
Tabla 8: Permeabilidad Promedio de los especímenes	60
Tabla 9: Contraste de Variables con la Hipótesis General	63
Tabla 10: Resultados de Resistencia a la Compresión	63
Tabla 11: Resultados de Resistencia a la Flexión	64

RESUMEN

En los últimos años los problemas por la falta de evacuación de aguas pluviales, esto se asocia con el crecimiento poblacional, puesto que la zona urbanizada al incrementar su tamaño produce una necesidad de contar cada vez con mejores infraestructuras y fundamentalmente con pavimentos para el buen tránsito.

En la actualidad, se necesitan construcciones innovadoras para disminuir los problemas causados por las fuertes precipitaciones pluviales o el déficit que existe en la captación de aguas pluviales.

Esta investigación tuvo como finalidad, determinar un tipo de concreto poroso, con capacidad de infiltrar las aguas pluviales y derivarlas a drenes naturales o artificiales y solucionar el problema de aniego en zonas lluviosas y con topografía plana, también busca determinar si realizando un correcto diseño de mezcla de Concreto Poroso, que cumpla con propiedades mecánicas adecuadas puede ser utilizado en los sistema de drenaje y de esta manera tener un óptimo sistema de derivación de aguas pluviales en las calles del distrito de Morales.

Las intensas precipitaciones que se han presentado en los últimos años en el distrito de Morales, el sistema de drenaje está en mal estado el cual provoca un incremento en el caudal de agua que además de saturar los alcantarillados pluviales y la carpeta d rodadura, convierte las calles de nuestro distrito en verdaderos ríos. Impedir que las aguas pluviales se acumulen en gran cantidad sobre la capa de rodadura de los pavimentos rígidos es posible, haciendo uso de una capa constituida por Concreto Poroso.

En la actualidad, se necesitan construcciones innovadoras para disminuir los problemas causados por las fuertes precipitaciones pluviales o el déficit que existe en la captación de aguas.

El concreto poroso es un concreto especial, que permite el paso del agua a través de su estructura gracias al alto porcentaje de vacíos que posee a diferencia del concreto tradicional. Esta cualidad contribuye a culminar con la falta de permeabilidad en las estructuras tradicionales de concreto, evitando fallas estructurales debido al encharcamiento y escurrimiento del agua.

Se tiene como objetivo general, mejorar el sistema de drenaje pluvial de las calles del distrito de Morales, provincia y departamento de San Martín, mediante la propuesta de diseño de concreto poroso, permitiendo que el concreto drenante se desempeñe sin ningún inconveniente como para pavimentos y sistemas de drenajes pluviales.

La investigación realizada en la presente Tesis, busca determinar si realizando un correcto diseño de mezcla de Concreto Poroso, que cumpla con propiedades mecánicas adecuadas puede ser utilizado como capa de rodadura en pavimentos rígidos, y de esta manera tener un óptimo sistema de drenaje en las calles del distrito de Morales.

Se deben tener en cuenta las consideraciones básicas de diseñar un pavimento poroso, como son: condiciones del suelo, características del concreto poroso y evaluación de las precipitaciones en la localidad.

Se trata del cálculo para lograr el diseño del sistema de drenaje, así como de los espesores que tendrá nuestro pavimento poroso y su aplicación a un problema específico.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño se concluye que la propuesta presentada en esta investigación cumple con los parámetros básicos para considerársele como un apropiado diseño para mejorar el sistema de drenaje pluvial de las calles del distrito de Morales.

Palabra claves: Sistema de drenaje Pluvial, Concreto permeable, Permeabilidad, Resistencia a la compresión, Módulo de rotura e infiltración.

ABSTRACT

In recent years, the problems due to the lack of evacuation of rainwater, this is associated with population growth, since the urbanized area, increasing its size, produces a need for increasingly better infrastructures and mainly pavements for good traffic. .

At present, innovative constructions are needed to reduce the problems caused by heavy rainfall or the deficit that exists in the collection of rainwater.

The purpose of this investigation was to determine a type of porous concrete, with the capacity to infiltrate rainwater and derive it to natural or artificial drains and solve the problem of waterlogging in rainy areas and with flat topography, it also seeks to determine if carrying out a correct design of Porous Concrete mixture, which meets adequate mechanical properties, can be used in the drainage system and thus have an optimal rainwater diversion system in the streets of the Morales district.

The intense rainfall that has occurred in recent years in the Morales district, the drainage system is in poor condition, which causes an increase in the flow of water that, in addition to saturating the storm sewers and the roadway, turns the streets of our district into real rivers. Preventing rainwater from accumulating in large quantities on the surface layer of rigid pavements is possible, using a layer made up of Porous Concrete.

At present, innovative constructions are needed to reduce the problems caused by heavy rainfall or the deficit that exists in water collection.

Porous concrete is a special concrete, which allows the passage of water through its structure thanks to the high percentage of voids it has, unlike traditional concrete. This quality contributes to culminating in the lack of permeability in traditional concrete structures, avoiding structural failures due to waterlogging and runoff.

The general objective is to improve the storm drainage system of the streets of the Morales district, province and department of San Martín, through the porous concrete design proposal, allowing the draining concrete to perform without any inconvenience as for pavements and storm drainage systems.

The investigation carried out in this Thesis, seeks to determine if by carrying out a correct design of the Porous Concrete mix, which meets adequate mechanical properties, it can be used as a wearing course in rigid pavements, and in this way have an optimal drainage system in the streets of the Morales district.

The basic considerations of designing a porous pavement must be taken into account, such as: soil conditions, characteristics of porous concrete and evaluation of rainfall in the locality.

It is about the calculation to achieve the design of the drainage system, as well as the thicknesses that our porous pavement will have and its application to a specific problem.

According to the results obtained in the design, it is concluded that the proposal presented in this investigation meets the basic parameters to be considered as an appropriate design to improve the storm drainage system of the streets of the Morales district.

Keywords: Storm drainage system, pervious concrete, permeability, compressive strength, modulus of rupture and infiltration.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

En este capítulo, se muestra la importancia de la implementación del concreto poroso o drenante como carpeta de rodadura, cunetas y/o alcantarillas con el fin de generar un impacto positivo en la sociedad y medio ambiente, ya que, en el distrito de Morales durante muchos años, se ha visto afectado por lluvias de gran intensidad.

Con respuesta a estos efectos nocivos, desde décadas pasadas se han venido concibiendo y probando una serie de técnicas alternativas de drenaje pluvial, las cuales intentan crear soluciones que generen la menor diferencia posible, complementando y sustituyendo en algunos casos los sistemas de drenaje convencional y aliviando las demandas excesivas que se presentan de manera puntual en el tiempo.

Dentro de las infraestructuras más afectadas, se encuentran los pavimentos en zonas urbanas, puesto que son de vital importancia para la comunicación entre calles. Por ello, existe la necesidad de contar con soluciones innovadoras en las construcciones y diseños de pavimentos con la finalidad de disminuir riesgos de inundaciones.

Debido a estos acontecimientos, en el rubro construcción se viene innovando la implementación mediante la presente tesis, para realizar diseños para pavimentos drenante para optimizar la captación y reciclaje del recurso más importante para la vida, el agua; siendo este un recurso fundamental para el desarrollo humano.

La implementación del pavimento de concreto poroso, tiene como finalidad mitigar el impacto de las escorrentías superficiales en las vías. Se debe tener en cuenta que, si no brindamos una solución eficaz a este problema, las zonas urbanas se verán afectadas por inundaciones, encharcamientos y por consecuencia, desgaste en los pavimentos, afectando el tránsito peatonal y vehicular.

Esta investigación describe algunos antecedentes sobre las consecuencias de las inundaciones por falta de captación de aguas de lluvias y la importancia del pavimento drenante. Se plantea la problemática del presente estudio y se trabaja sobre la base de los objetivos.

La teoría es parte fundamental para abordar conceptos relacionados al pavimento drenante, pero la parte modular de este trabajo está en la propuesta de diseño de mezcla del concreto poroso como capa de rodadura, donde se establecen los parámetros a seguir para el desarrollo, construcción y mantenimiento del pavimento drenante.

En este contexto, el siguiente Proyecto de Investigación pretende proporcionar una alternativa de solución para el control de aguas pluviales a través del uso de Concreto Poroso aplicado en pavimentos.

El Concreto Poroso al utilizarse en pavimentos rígidos tiene por finalidad infiltrar el agua a través de sus poros lo que permitirá tener un mejor control y evacuación del agua proveniente de las lluvias, ya que se tendría un óptimo sistema de drenaje.

El concreto poroso a diferencia del concreto convencional no sufre los efectos de la intemperie y esto impide la formación de baches, además brinda una mayor tracción inclusive bajo la más intensa lluvia. La presente Tesis se desarrollará bajo la Línea de investigación de Diseño de Infraestructura Vial, ya que se procederá a seguir técnicas, evaluaciones y normas aplicadas en un pavimento convencional.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. Antecedentes Internacionales:

- ❖ Según Eddy Johanna Mendoza Vera y Jenny Katherine Ospina García (2018) en su tesis de titulado **“Mezcla de Concreto Permeable como parte de la Estructura del Pavimento Rígido, Aplicado a Vías de Tráfico Medio”**. De la Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Bogotá D.C., que llegan a las siguientes conclusiones:

De acuerdo a la información de la bibliografía con respecto al concreto permeable o poroso, nuestro país ya lleva un adelanto en estas investigaciones, aplicándolo con diferentes fines para lograr un equilibrio entre lo hidráulico y estructural mínimo que exige un pavimento rígido. Estos concretos se han adaptado a vías de tráfico medio, zonas de parqueo, socavación para arboleado, ciclo pistas, canchas de futbol, área deportivas y recreativas y por último en andenes.

El caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio es de $Q = 82.98 \text{ l/s}$ o $0,08298 \text{ m}^3/\text{s}$, con una intensidad máxima $I=215 \text{ mm/h}$, para un periodo de lluvia critico aplicado al tramo de la investigación.

Se realizó la caracterización de los materiales a utilizar para esta mezcla, haciendo énfasis en la aplicación para un concreto de resistencia de 4000 psi, realizando análisis de laboratorios pertinentes y recopilando información de las investigaciones anteriores, aunque como resultado se obtiene una mezcla con menor resistencia la cual no se llega a lo que pretende esta investigación se recomienda ser utilizada en losa donde la resistencia sea 2500 psi.

Se realizó caracterización de material al agregado grueso; partículas entre $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ " de tamaño máximo nominal; basados en estudios e investigaciones anteriores para nuestro diseño no se utilizaron arenas porque necesitamos un diseño totalmente poroso.

- ❖ José Antonio Laguna Alemán y Orlando Javier Piedrahita González (2013) realizaron la investigación sobre el **“Estudio Comparativo de Mezclas de Concreto Poroso usando materiales disponibles en Cartagena de Indias para uso de Pavimentos en parqueaderos”**. De la Universidad de Cartagena de Indias. Que concluyó:

El desarrollo del presente proyecto de investigación condujo a evaluar técnica y económicamente a nivel del laboratorio diferentes mezclas de concreto poroso, comprobando que algunas de estas mezclas puedan ser empleadas como capa de rodadura en zonas de estacionamiento de Cartagena de Indias, teniendo en cuenta que estas mezclas cumplen con los requisitos arrojados por la revisión literaria en cuanto a sus propiedades mecánicas e hidráulicas.

De acuerdo a la investigación realizada se encontró que en la ciudad de Cartagena existen dos tipos de agregado grueso que pueden ser utilizados para la fabricación de concreto poroso, los cuales son canto rodado y triturado de caliza. Estos cumplen con la norma colombiana para que la calidad del agregado, presentando una buena gradación y un porcentaje de desgaste aceptable por la norma en ambos casos.

Las mezclas de concreto poroso en estado fresco presentaron distintos valores en los asentamientos, debido a que en algunas el revenimiento fue cero lo cual es el valor más común en este tipo de concreto según la ACI-522R, por otro lado algunas presentaron valores menores a 50 mm, los cuales son aceptables de acuerdo a la literatura (Tennis et al., 2004), y también se presentaron asentamientos mayores a 50 mm, los cuales se dieron en las mezclas que tenían 25% de vacíos y se podía evidenciar la baja estabilidad de estas mezclas debido a que se desmoronaban una vez hecha la prueba.

- ❖ Con referencia a nuestro tema de investigación, tenemos una publicación de Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción, Titulada **“Metodología de Diseño para Concretos Permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad”**, que llegan a las siguientes conclusiones:

- Se formuló realizar una propuesta de metodología de diseño de concreto permeable que toma en cuenta las características de forma del agregado, cemento a utilizar, relación A/C y energía de compactación a aplicarse; sumado a esto se propusieron índices de compactación propios asociados a energías de compactación específicas.
 - Se observó al trabajar con las mezclas en estado fresco que para la relación A/C de 0,25 la trabajabilidad era muy baja con lo cual se hacía difícil el manejo de esta, para la relación de 0,27 a pesar de ser un aumento pequeño la diferencia en la trabajabilidad es apreciable debido a lo que se ha mencionado respecto a lo delicado que llega a ser el tema del agua; de la misma manera y como era de esperarse para la relación de 0,30 la trabajabilidad mejora aún más.
 - Las mezclas de concretos permeables alcanzan resistencias menores que las de los concretos convencionales utilizando el mismo cemento, esto sucede debido a su configuración de estructura abierta que produce vacíos en el material, los cuales son ocupados por la combinación de agregado fino y cemento en los concretos convencionales.
 - Se obtuvieron resistencias a la compresión uniaxial a 28 días para el diseño A desde los 14,50 MPa hasta los 19,45 MPa; mientras para el diseño B en el rango de los 12,99 MPa hasta los 13,70 MPa.
- ❖ Martínez, Geinner (2013). En su Trabajo de grado Titulada **“Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible “Suds” Como Alternativa de Control y Regulación de las Aguas Lluvias en la Ciudad de Palmira”**, **Universidad Militar Nueva Granada – Bogotá D.C.** presenta las siguientes conclusiones:
- Realizada la consulta de diversas fuentes en materia de SUDS, fue posible conocer la gran variedad de técnicas no convencionales que han surgido como alternativa a las deficiencias de los sistemas convencionales para la recolección y transporte de aguas lluvias, así como los múltiples

beneficios de la implantación adecuada de estos sistemas en diversos escenarios. Estas técnicas de gran aceptación y aplicación en muchos países surgieron en respuesta a los problemas asociados al crecimiento de las ciudades, a la impermeabilización del suelo, a la limitación de los sistemas existentes de drenaje.

- La ciudad de Palmira presenta al interior del perímetro urbano un porcentaje importante de áreas y vacíos urbanos destinados al desarrollo de diversos proyectos urbanísticos, adicionalmente en la última actualización del POT incluye nuevas áreas de expansión que incrementaran las superficies impermeables y con ello los volúmenes de escorrentía generando mayor presión y demanda no solo sobre la infraestructura de drenaje existente sino también sobre las fuentes receptoras. En este contexto se selecciona un proyecto destinado a la construcción de vivienda justificando la necesidad de realizar un manejo y control de las escorrentías por la limitada capacidad de la infraestructura existente y la magnitud de las obras necesarias en caso de una alternativa tradicional.
 - Mediante la implementación y simulación del modelo hidráulico fue posible verificar el funcionamiento del sistema una vez implantado el estanque de detención, con la ventaja de simular el flujo tanto en la red como en el depósito de forma conjunta e interactiva, determinando el volumen necesario para un evento específico y comprobando la funcionalidad de los demás elementos que conforman el sistema, incluida la entrega regulada a la red existente.
- ❖ Polanco, Ángela y Sánchez, Ángela (2012). En su Tesis titulada “**Diseño Hidráulico de Losas en Pavimento Poroso Rígido como Estructuras Complementarias al Drenaje Pluvial de Bogotá**”, Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá D.C. presenta las siguientes conclusiones:
- En este trabajo de grado se propuso, tras una revisión de los métodos de diseño existentes, la utilización de un método de diseño de

pavimento poroso rígido adaptado a la carga hidrológica característica de una zona específica de Bogotá (Avenida 68 con calle 80) y teniendo en cuenta propiedades hidráulicas y de envejecimiento de una mezcla de pavimento probada en condiciones de laboratorio Gómez et al. (2010), con el fin de controlar las posibles inundaciones que se ocasionen en la zona.

- De acuerdo a los resultados obtenidos mediante este trabajo de grado, se propone utilizar el método de la curva envolvente como metodología de diseño en la zona de estudio para un periodo de retorno de 2 años, ya que es el más avanzado puesto que arroja de manera inmediata el máximo almacenamiento requerido sin necesidad de realizar cálculos para diferentes duraciones, y adicionalmente se cuenta con la información hidrológica requerida para la aplicación del mismo.
 - Adicionalmente se logró proponer un método para el cálculo del factor de seguridad en función del nivel de mantenimiento esperado, aspecto clave utilizado en el dimensionamiento hidráulico de pavimentos porosos rígidos adaptados a las condiciones hidrológicas del sitio de estudio y a las características de las mezclas de dichos pavimentos.
- ❖ Porras Morales, José (2017) en su proyecto titulado **“Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad”**, desarrollado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, para obtener su proyecto de grado, expone como objetivo de su proyecto:
- Desarrollar una propuesta metodológica de diseño de concretos hidráulicos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad. La metodología que utilizó fue un diseño experimental, en el cual realizó tres moldes de cilindro para mezclas diferentes y en cada mezcla utilizó distintos porcentajes de vacíos, relación de agua/cemento y métodos de compactación, como base para proponer una metodología de diseño como lo recomendado por el ACI 522R-10 y la NRMCA. Se verificó que ninguna de las dos satisfacía por completo lo buscado, así que en su propuesta estimó como lo principal determinar el peso unitario del agregado, volumen

de pasta, contenido de agua/cemento y el contenido de vacíos para tener un concreto eficazmente permeable. El autor concluyó diciendo al trabajar con mezclas en estado fresco la relación A/C de 0,25 la trabajabilidad era muy baja con lo cual se hacía difícil el manejo de esta, para la relación de 0,27 a pesar de ser un aumento pequeño la diferencia en la trabajabilidad es apreciable; de la misma manera y como era de esperarse para la relación de 0,30 la trabajabilidad mejora aún más.

- ❖ Trujillo López, Alejandra y Quiroz Lasprilla, Diana (2013) en su tesis titulada **“Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Drenaje Urbano”**, desarrollada en la Pontificia Universidad Javeriana, para obtener su tesis de grado, exponen como objetivo de su investigación: realizar una revisión crítica del estado del arte acerca de los pavimentos porosos y permeables utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano. A partir de un ejemplo de aplicación se intentó verificar si dichos métodos eran adaptables para su aplicación a la ciudad de Bogotá, se encontraron siete métodos de diseño hidrológico, de los cuales cuatro se basan en curvas IDF y dos en series de precipitación, por otro lado, tan sólo un método intenta dimensionar la estructura en función de objetivos ambientales, pero sin tener en cuenta concentraciones de contaminantes objetivo de entrada al sistema ni objetivos de remoción. Los autores concluyeron mencionando que dichos métodos constructivos no cumplan correctamente con la funcionalidad y el propósito de los pavimentos permeables (lograr una percolación del agua a través de sus capas, sin perder capacidad portante ni estabilidad). Sin embargo, es de resaltar que el medio es factible poner en práctica los métodos constructivos reportados en la literatura, puesto que en general no requieren de un grado especialización muy elevado.

2.1.2. Antecedentes Nacionales:

- ❖ Tenemos tesis del autor Hilder Javier Jiménez Pesantes. En su trabajo de investigación titulado: **“Evaluación del Concreto Permeable como una Alternativa Sostenible para el Control de las Aguas Pluviales en la Ciudad de Castilla, Provincia Piura y Departamento De Piura”**, de la

Universidad Nacional de Piura – Perú 2019, quienes llegaron entre otras a las siguientes conclusiones:

- Concluimos que para lograr mezclas de concreto permeable se debe usar la metodología propuesta por el “informe del concreto permeable” (ACI 522R, 2010), usándose relaciones bajas de agua/cemento y a la vez complementándose con un % de aditivo plastificante para darle trabajabilidad a las mezclas. La cual nos permitirá obtener concretos permeables que resistan esfuerzos a compresión mayores a 210 kg/cm².
- En esta investigación se evaluaron 7 propuestas de las cuales se determinó que el diseño mezcla óptimo de concreto permeable es el N°7. En el cual se utilizó una relación agua/cemento de 0.27 obteniéndose la siguiente proporción en peso 1: 0.20: 4.03: 13.25.
- El diseño de mezcla óptimo de esta investigación N°7 obtuvo una resistencia a compresión de diseño de 238 kg/cm², en consecuencia, cumplió con el valor de diseño de 210 kg/cm². Por lo cual se concluyó que es viable para obras de pavimentos especiales, tales como aceras o veredas, pases peatonales y ciclovías.
- El diseño de mezcla óptimo de esta investigación N°7 alcanzo una permeabilidad de 0.1582 cm/s. Cumpliendo con el requisito de permeabilidad para el drenaje pluvial frente a precipitaciones de una intensidad de lluvia de 247.9 mm/h (0.0069 cm/s).
- El costo del concreto permeable para una resistencia de 210 kg/cm² es de s/ .410.61 (Cuatrocientos diez y 61/100 Soles) y el costo de un concreto convencional para una resistencia de 210 kg/cm² es de s/ .332.62 (Trescientos treinta y dos y 62/100 Soles). Aproximadamente el concreto permeable sería un 19% mayor al costo de un concreto convencional.
- El concreto permeable es una alternativa viable como superficie de infiltración de escurrimientos y que al mismo tiempo cumple una función de capa de rodadura, dando como resultado una herramienta sostenible que facilitara el control de las aguas pluviales en áreas urbanas

proporcionando beneficios económicos, sociales y medioambientales durante su vida útil.

- Como consecuencia, el diseño de mezcla del concreto permeable seleccionado, es viable técnicamente y económicamente para ser utilizado como solución en las estructuras de pavimentos planteados en esta investigación.

❖ Pérez Gordillo, Johan (2017) en su tesis titulada **“Influencia de la Granulometría del Agregado Grueso en las Propiedades Mecánicas e Hidráulicas de un Concreto Permeable, Trujillo 2017”**, desarrollada en la Universidad Privada del Norte, para obtener su tesis de grado, expone como objetivo de su investigación:

Determinar el efecto que tiene la variación de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable. El diseño de la investigación se considera de tipo experimental ya que se manipula la variable independiente, las propiedades evaluadas son resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad, las gradaciones para el agregado fueron 1/2”, 3/8” y N° 4, para el desarrollo del trabajo se elaboró tres diseños de mezcla considerando los mismos criterios, la población que propuso son los concretos permeables que utilicen agregado grueso de 1/2”, 3/8” y N°4 y la muestra se considera 45 probetas de concreto permeable en estado endurecido. En cuanto a las técnicas de recolección de datos se empleó la observación directa, análisis documental y ensayos de laboratorio. El autor concluyó mencionando que se pudo determinar que el concreto permeable elaborado con la gradación N° 4 presentó las mayores resistencias a compresión y flexión, siendo estas de 209.68 kg/cm² y 33.81 kg/cm² y en cuanto a la permeabilidad la gradación 3/8” fue la que obtuvo mayores valores.

❖ Guizado Barrios, Agneth y Curi Grados, Elvis (2017) en su tesis titulada **“Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales**

de la costa noroeste del Perú”, desarrollada en la Pontificia Universidad Católica del Perú, para obtener su tesis de grado, exponen como objetivo de su investigación:

Contribuir con el estudio del concreto permeable como alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales. Analizaron el desempeño estructural e hidráulico de concreto permeable y lo cuantificaron mediante sus propiedades de resistencia y permeabilidad de acuerdo al American Concrete Institute (ACI) 522R-10 y ensayos ASTM, para ello se diseñó quince mezclas de concreto permeable con un contenido de vacíos de 15%, 17% y 19%, agregado grueso de 3/4" y 3/8" con una relación a/c de 0.00 a 0.10, de las cuales se elaboró probetas de distintos tamaños para los ensayos correspondientes. Los autores concluyeron mencionando que la mezcla más eficiente fue la M--H8-ang-19.5%-ar. Esta posee una permeabilidad de 0.7 cm/seg; un porcentaje de vacíos en estado fresco del 19.5%; cemento en una proporción de 428 kg/m³; resistencias a flexo tracción y a compresión a 28 días de 3.6 Mpa y 22.2 MPa, respectivamente; relación agua/cemento de 0.27, y uso de aditivo reductor de agua de alto rango al 2% del peso del cemento.

❖ Flores Quispe, Cesar y Pacompia Calcina, Iván (2015) en su tesis titulada **“Diseño de Mezcla de Concreto Permeable con adición de Tiras de Plástico para Pavimentos F’c 175 Kg/Cm² en la ciudad de Puno”,** desarrollada en la Universidad Nacional del Altiplano, para obtener su tesis de grado, exponen como objetivo de su investigación:

Evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico (polipropileno) en las propiedades del concreto f’c=175 kg/cm² diseñado para pavimentos en la ciudad de Puno. Las variables dependientes estudiadas son las propiedades como resistencia a la compresión, contenido de vacíos y permeabilidad, con el fin de obtener el diseño de mezcla del concreto permeable idóneo realizaron dos tipos de mezclas, en el primero utilizaron agregado grueso de tamaño estándar N°57 (con un T.M. de 1”), en el segundo diseño fue utilizado agregado grueso N°8,

gradación recomendada por ACI para obtener mayores resistencias a compresión en concreto permeable. Los autores concluyeron indicando que se determinó que el concreto permeable elaborado con la granulometría normalizada (tamaño estándar N°8) es idóneo para la incorporación de tiras de polipropileno de 3 mm. x 30 mm. en diferentes porcentajes respecto al peso por metro cúbico en el diseño de mezcla (0.05%, 0.10% y 0.15%), determinándose que la adición de tiras en un 0.05% y 0.10% respecto al peso mejoran la resistencia a la compresión promedio a los 28 días en un 16.7% y 4.2% respectivamente, mientras que la incorporación de tiras en un 0.15% disminuye la resistencia a la compresión promedio en 10.7%.

❖ Benites Bustamante, Juan (2014) en su tesis titulada **“Características Físicas y Mecánicas del Concreto Permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast”**, desarrollada en la Universidad Nacional de Cajamarca, para obtener su tesis de grado, expone como objetivo de su investigación:

Determinar si las propiedades de permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto permeable elaborado con agregados propios y un aditivo tipo A están dentro del rango de valores que considera el ACI. La metodología utilizada para la investigación fue del tipo cuantitativa experimental, se realizó el diseño de una mezcla utilizando el valor medio del rango recomendado de la relación agua-cemento, con un porcentaje de vacíos del 20% que es adecuado según la literatura y con el valor medio de un aditivo tipo A según su hoja técnica. La población utilizada para el presente estudio estuvo conformada por todas las probetas de concreto y la muestra se tomó 24 probetas de concreto permeable, en cuanto a la técnica de recolección de datos se consideró la observación directa. El autor concluyó señalando que la resistencia promedio es de 6.030 MPa,

7.148 MPa y 7.556 MPa respectivamente siendo baja pero que está dentro del rango de 2.8 MPa a 28 MPa que especifica la norma ACI 522R-I O y la permeabilidad medida a través de su coeficiente de permeabilidad

promedio es de 0.321 cm/s que está dentro del rango de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s que también establece la norma antes mencionada.

❖ De acuerdo a la tesis de **“Análisis flexotracción del concreto permeable”**, se pudo estipular la resistencia a la flexotracción del concreto permeable, diseñar un pavimento en concreto permeable e inferir las grandes propiedades y ventajas que posee este material, comenzando por la protección del medio ambiente. SOLANO Cindy (2010).

Visto el concreto permeable como una opción de pavimento sostenible, ODEBRECHT (2014) Hormigón permeable en estacionamientos de vehículos. Se determinó su excelente comportamiento al manejar el agua de escorrentía superficial. Así de esta forma se tiene que se puede disminuir el tamaño o incluso hasta eliminar la construcción de lagunas de retención.

❖ Además, tenemos una Tesis del Autor: Alessandro Jesús Bautista Pereda, Titulada: “Diseño De Pavimento Rígido Permeable Para la Evacuación de Agua Pluviales Según la Norma ACI 522R-10”, de la Universidad de San Martín de Porres, que llegan a las siguientes conclusiones:

- Los diseños que no tienen agregado fino son los que tienen poca resistencia a la compresión y flexión. Este es el caso del Diseño 1 propuesto, que tuvo una resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días de 51.3 kg/cm² y MR = 22.35 kg/cm².
- Los diseños que poseen agregado fino son superiores en cuanto a soportar esfuerzos se refiere, pero obstruyen los vacíos. En ese sentido, los agregados finos disminuyen la permeabilidad, pero ayudan al concreto a ganar resistencia.
- Los diseños con alto contenido de vacíos tienen una buena permeabilidad, como el caso del Diseño 1 que posee una permeabilidad de 0.91 cm/s, pero tienen baja resistencia.
- El requisito mínimo de resistencia a la compresión para pavimentos especiales (aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías) según la

norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de 175 kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con la resistencia a los 28 días (177.98 kg/cm²).

2.1.3. Antecedentes Locales

❖ Sopan Hernández Genith y Soto Jara Lisbeth (2020), con su tesis titulada: **“Propuesta de Diseño de Pavimento, utilizando Concreto Permeable para el control del Drenaje Pluvial en el Jr. Malecón Germán Aliaga de la Ciudad de Tocache”**, Universidad Científica del Perú, llega a las siguientes conclusiones:

- Se realizaron diseños de mezcla de concreto permeable para 15%, 20%, 24% y 25% de vacíos, para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², obteniendo los valores de 233.29 kg/cm², 220.22 kg/cm², 210.15 kg/cm² y 208.36 kg/cm² respectivamente. De los cuales solo los diseños de 20%, 24% y 25% de vacíos cumplieron con la resistencia requerida de diseño. Analizando estos 3 diseños de mezcla concluimos que el diseño para 24% de vacíos es el óptimo, debido a que es el que más se acerca a la resistencia requerida de diseño teniendo solo una diferencia de 0.15 kg/cm².
- Los valores mínimos de la resistencia a la rotura para pavimentos en vías locales, descritos en la norma CE. 010 pavimentos urbanos es de MR=34kg/cm². Teniendo como base este valor y comprándolo con los valores obtenidos de los 20%, 24% y 25% de vacíos a los 7, 14 y 28 días de los ensayos, estos cumplen, ya que se obtuvieron resistencias mucho más altas a lo requerido por la norma C.E. 010.
- Del coeficiente de infiltración de diseño de mezcla óptima para 24% de vacíos, se concluye que, este diseño cuenta con alto nivel de permeabilidad debido a que se obtuvo un valor de 0.457 cm/s, valor que se encuentra muy cercano al límite superior del rango para concretos permeables el cual es 0.54 cm/s.

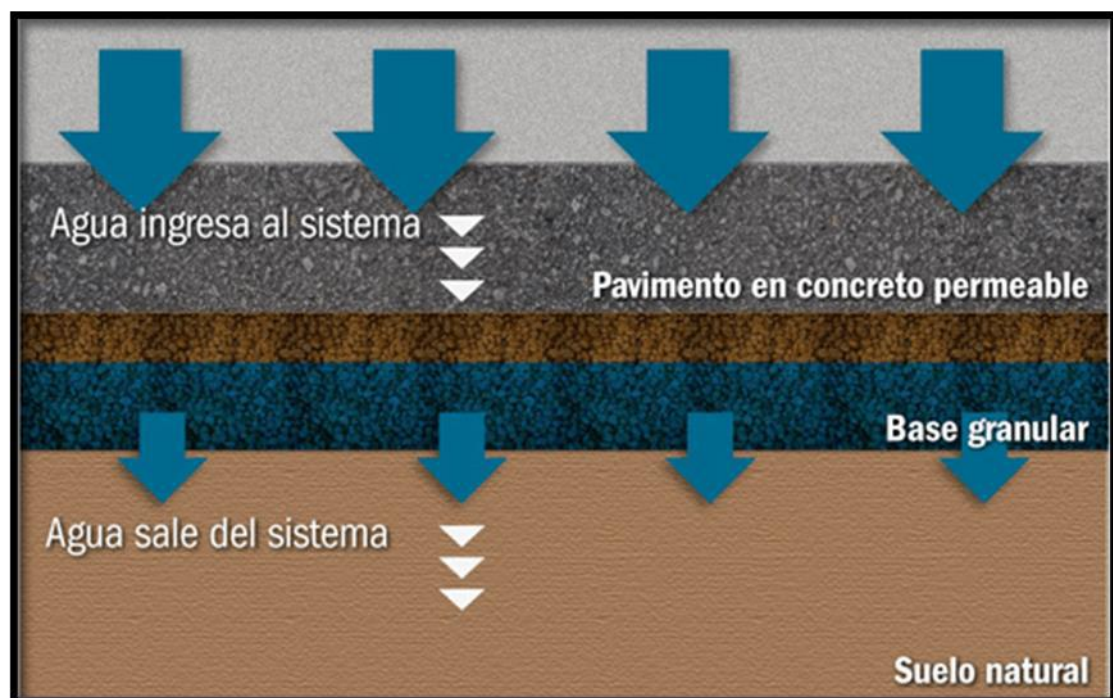
2.2 Bases Teóricas

2.2.1 CONCRETO POROSO

“El concreto poroso es un material compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. Estos ingredientes permiten obtener un material resistente con poros interconectados de aberturas entre 2 y 8 mm que permiten que el agua infiltre fácilmente. El contenido de vacíos que permite que el agua fluya está en el rango de 15 y 35% con una resistencia a la compresión típica de 28 a 280 kg/cm².

La capacidad de infiltración de un concreto poroso varía debido al tamaño de agregado y a la densidad del mismo, pero generalmente está en el intervalo de 81 a 730 L/min/m².

Ilustración 1: Concreto Permeable



Fuente: <http://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-naio-impacto>

2.2.1.1 COMPONENTE DEL CONCRETO POROSO

- **Materiales Cementantes:**

El cemento portland es usado principalmente como aglutinante en el concreto poroso, pero también se podría adicionar otros materiales, tales como ceniza volante, escoria granulada o humo de sílice.

A mayor adición de materiales cementantes, como el cemento portland, generará que el concreto sea más resistente, pero se corre el riesgo de la disminución del porcentaje de vacíos del diseño y como consecuencia, se pierde la capacidad de infiltración de agua, por eso el ACI 522R-10 asegura que: “es recomendable diseñar con cantidades que oscilen entre 270 y 415 kg/m³” (ACI 522R-10, 2010: p. 15).

- **Agregados**

El agregado que generalmente se usa en el diseño del concreto poroso es el grueso, considerando en la mezcla el uso de un solo tamaño o de varios, tomando en cuenta entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ pulg. (19 y 9.5mm). La forma del agregado grueso puede ser angular o redondeado.

El contenido de agregado fino es limitado en la mezcla de concreto poroso, porque compromete a la interconexión de los vacíos dentro del concreto y esto genera la reducción de la infiltración de agua del mismo. La adición de agregado fino también puede incrementar la resistencia a la compresión y la densidad del concreto poroso.

Según el ACI 522R-10 (2010): “la calidad de los agregados en el concreto permeable es igual de importante que en el concreto convencional. Se deben evitar las partículas escamosas o alargadas. El agregado grueso debe ser duro, limpio y libre de recubrimientos” (p. 6).

- **Agua Potable**

La calidad del agua para el concreto poroso se rige por los mismos requisitos que para el concreto convencional. La relación agua cemento (a/c) de los concretos permeables son relativamente bajas (generalmente entre 0.26 a 0.40) porque una cantidad excesiva de agua conducirá al drenaje de la pasta y la posterior obstrucción del sistema de poros.

- **Aditivos**

Los aditivos sirven para mejorar las propiedades y características del concreto poroso y dependiendo de su tipo, influye en el estado fresco y/o endurecido del concreto.

Los aditivos reductores de agua (de alto o mediano rango) se utilizan dependiendo de la relación agua-cemento (a/c) y deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C494.

Los aditivos retardantes son utilizados para la estabilización y el control de la hidratación del cemento, debido a esto, son usados comúnmente cuando se trata de mezclas rígidas como el concreto permeable y sobre todo en aplicaciones en climas cálidos. También pueden actuar como lubricantes, esto ayuda a la descarga del concreto desde la mezcladora, así como también mejora el manejo.

Los aditivos aceleradores se pueden utilizar cuando el concreto permeable se implementa en ambientes fríos.

Los aditivos incorporadores de aire no son frecuentemente usados en el diseño de un concreto permeable, pero son utilizados en ambientes susceptibles al hielo y deshielo. También tienen que cumplir los requerimientos de la norma ASTM C260 (ACI 522R-10, 2010).

2.2.1.2 POROSIDAD

Para Torre (2004), la porosidad “viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la mezcla de concreto, siendo una de las propiedades en donde se debe tener mayor consideración” (p. 47). Tanto la resistencia del concreto y su permeabilidad dependen de la porosidad o porcentaje de vacíos, este valor está afectado por la cantidad de agregado fino, la cantidad de cemento y la potencia de compactación del concreto. Para el diseño de concreto permeable los valores del porcentaje de vacíos varían entre 15% y 30% (Pérez, 2017, p. 57).

2.2.1.3 GRADACIÓN DE AGREGADOS

Los agregados tienen una gran importancia al momento de diseñar una mezcla de concreto, estos llegan a ocupar las tres cuartas partes del volumen total, además se debe tener en cuenta que un agregado mustio llega a limitar la resistencia del concreto, estos elementos son aquellos que suministran estabilidad volumétrica y durabilidad. Entonces se puede definir al agregado como el grupo de partículas minerales de origen natural o artificial cuyos diámetros son definidos en las normas establecidas (Torre, 2004, p. 43).

“Las gradaciones de los agregados utilizados en el concreto permeable ya sea agregado grueso de un solo tamaño o clasificación entre 3/4 y 3/8 pulgadas (19 y 9,5 mm). Agregados redondeados y machacadas, tanto normal y ligera, se han utilizado para hacer concreto permeable. El agregado utilizado debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM D 448 y C33/C33M” (ACI522R, 2010).

2.2.1.4 RELACIÓN AGUA / CEMENTO

La relación agua/cemento es sumamente importante para llegar a tener una adecuada resistencia a la compresión, es por ello que para el diseño de concreto permeable se debe tener mucha consideración en lo que la norma nos diga. “Un alto a/c puede ocasionar que la pasta fluya entre los

agregados, obstruyendo los vacíos entre ellos; por otro lado, un bajo a/c puede provocar poca adhesión entre los agregados y generando problemas de trabajabilidad” (ACI 522R, 2010).

2.2.1.5 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DEL CONCRETO PERMEABLE

Las propiedades en estado fresco que se deben tener en cuenta para el diseño de Concreto Permeable son:

- **Trabajabilidad:** Para American Concrete Institute (2007), la trabajabilidad “es la propiedad del concreto o mortero en estado fresco la cual determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado”. Esta es una de las propiedades en la cual se debe tener bastante cuidado para el buen diseño de un concreto permeable, ya que nos permitirá tener mejor control de la separación del agregado.
- **Consistencia:** Se puede considerar como la propiedad que nos permite observar la facilidad del concreto para rellenar por completo el molde. El ensayo que nos permite determinar esa propiedad es el de asentamiento de concreto o slump, el cual se realiza aplicando la norma ASTM C143. Para el concreto permeable no se considera este ensayo como control de calidad, solo se puede considerar como un valor de referencia, debido a que la mezcla es muy rígida. (Pérez, 2017, p. 29).

Según el American Concrete Institute (ACI), recomienda asentamiento para diferentes tipos de concreto, es así como para un concreto permeable el asentamiento máximo es de 2 cm y el revenimiento mínimo es de 0 cm.

- **Densidad:** Para Montejó (2006), la densidad o peso unitario “es la masa del material necesario para llenar un volumen unitario” (p. 61). Esto lo podemos entender como el peso del concreto por unidad de volumen.

Puesto que el concreto permeable tiene un gran porcentaje de vacíos, es considerado como un concreto ligero, ya que su masa volumétrica es el 70% de un concreto normal. Sus valores se encuentran entre 1600 y 2000 kg/m³ (López, 2010, p. 35).

- **Contenido de Aire:** Para Torre (2004), se “mide la cantidad de aire atrapado o retenido en la mezcla (mortero), se expresa en % del volumen total” (p. 13). Es importante no tener demasiado contenido de aire en la mezcla ya que de ser así disminuirá la resistencia.

2.2.1.6 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DEL CONCRETO PERMEABLE

Las propiedades en estado endurecido que se deben tener en cuenta para el diseño del Concreto Permeable son:

- **Permeabilidad:** Para Portugal (2007), menciona que la “permeabilidad del concreto, como la de cualquier material, consiste en que éste pueda ser atravesado por un fluido (agua, aire, vapor de agua) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material” (p. 236).

La característica principal del concreto permeable es sin lugar a dudas la capacidad de filtrar fluidos por medio de su estructura, esta capacidad está relacionada directamente el diseño óptimo de la mezcla, es por eso que se debe hacer énfasis en esta propiedad.

“Diferentes estudios y pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de vacíos de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa, además la permeabilidad en este tipo de mezclas para que sea considerada satisfactoria, el tiempo medido debe ser menor a los 100 segundos” (López, 2010, p. 41).

- **Durabilidad:** Se considera como aquella capacidad o propiedad que tiene el concreto para soportar los efectos de la intemperie, sin que se alteren sus propiedades mecánicas.

Al igual que el concreto tradicional, la durabilidad del concreto permeable se enfoca en la vida útil que pueda tener (Pérez, 2017, p. 33).

Contempla la resistencia del concreto a 3 factores principales, abrasión, congelamiento-deshielo y sulfatos. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto”

2.2.1.7 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO POROSO

Las propiedades mecánicas que se deben tener en cuenta para que el Concreto Poroso pueda ser aplicado en distintas estructuras son las siguientes:

- **Resistencia a la Compresión:** Es una de las características más significativas de todo concreto, esto se puede definir como el esfuerzo máximo que un material puede tolerar cuando está bajo una carga puntual.

La resistencia que pueda llegar a alcanzar el concreto va a depender de la cantidad de agua que se emplee en su elaboración. Una cantidad elevada de agua va a ocasionar que el cemento se escurra ocasionando una mala o insuficiente adherencia entre las partículas de los agregados. Por otro lado, una cantidad insuficiente de agua ocasionará falta de cohesión entre las mismas partículas. En ambos casos el resultado final va a dar una mezcla con poca resistencia.

Dependiendo de la cantidad de agregados finos, de la granulometría del agregado grueso, de la relación a/c, de la cantidad de cemento y de la compactación, la resistencia del concreto va a variar. A mayor cantidad de vacíos, se tendrá menor resistencia y viceversa.

“La resistencia del concreto permeable debería variar entre 70 y 280 kg/cm²”.

- **Resistencia a la Flexión:** La resistencia a la flexión de un concreto es baja en comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia en tracción pura. Este parámetro es aplicado en estructuras tales como pavimentos rígidos; debido a que los esfuerzos de compresión que resultan en la superficie de contacto entre las llantas de un vehículo y el pavimento son aproximadamente iguales a la presión de inflado de las mismas, la cual en el peor de los casos puede llegar a ser de 5 o 6 kg/cm²”.

La resistencia a la flexión es indicada por medio del módulo de rotura y sus valores se encuentran entre 10 y 20% de la resistencia a la compresión. En el concreto permeable se llegan a tener resistencias a la flexión entre 10 y 38 kg/cm².

2.2.2 SISTEMA DE DRENAJE

“Es una estructura que busca garantizar el desalojo del flujo ocasionado por precipitaciones pluviales en la cuenca o zonas de asentamientos humanos, provocando una mínima molestia, peligro y/o daño a las personas, los bienes, el medio ambiente y la infraestructura existente”

2.2.2.1 PAVIMENTO POROSO

Esta clase de Pavimentos están considerados dentro de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), estos pavimentos son totalmente permeables y filtran la escorrentía superficial a través de sus poros. La capa superior se ofrece como una solución adecuada a aplicaciones en aparcamientos, parques y jardines, calles peatonales y zonas residenciales.

Algunas de las áreas donde se puede utilizar un pavimento permeable son: Acceso vehicular, campos deportivos, estacionamientos, accesos peatonales y ciclo vías. Entonces podemos definir a un pavimento poroso estructuras viales con secciones compuestas de diversas capas de

materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta el terreno natural o sub rasante, y en conjunto pueden ofrecer la capacidad portante adecuada para resistir un tráfico determinado (generalmente liviano).

2.2.2.2 VENTAJAS DEL CONCRETO POROSO APLICADO EN PAVIMENTOS

Dentro de las Ventajas que nos puede brindar el Concreto Poroso una vez implementado en Pavimentos son:

- Eliminación o reducción de las dimensiones de alcantarillado pluvial.
- Control de escurrimiento de aguas pluviales.
- Evita encharcamiento y baches.

2.2.2.3 DESVENTAJAS DEL CONCRETO PERMEABLE APLICADO EN PAVIMENTOS

Entre las Desventajas más apreciables que presenta esta nueva tecnología es la de perder permeabilidad con el paso del tiempo, al taparse los poros con otro material y que solo se pueda usar en pavimentos con un bajo y/o ligero tránsito.

2.2.3 APLICACIONES

Debido a su propiedad de infiltración y buen control de las aguas pluviales, el concreto permeable ha sido usado en una amplia variedad de aplicaciones, la más resaltante es su uso en pavimentos. Las ventajas del uso de pavimentos de concreto permeable sobre los pavimentos de concreto convencional son los siguientes: el control de sustancias contaminantes en aguas pluviales; control de la escorrentía de las aguas pluviales; aumento de las facilidades para estacionamientos mediante la eliminación de la necesidad de áreas para la retención de agua; reducción del brillo en gran parte de las capas superficiales de pavimentos, especialmente cuando es de noche; reducción del ruido generado por la interacción entre el neumático y el pavimento; eliminación o reducción de

las dimensiones del drenaje pluvial; permitir que el aire y agua lleguen a las raíces de los árboles; entre otros.

Sin embargo, el éxito de estas aplicaciones dependerá de diferentes factores tales como la experiencia del constructor, la compactación del suelo y el adecuado diseño de acuerdo a la zona del proyecto.

El concreto permeable es también usado en la capa de rodadura en estacionamientos y vías de bajo tránsito.

Este material también es usado en diversas aplicaciones que requieren sus propiedades, por ejemplo, muros y losas donde se requiera de mejoras en la absorción acústica; capa superficial de pavimentos en parques, veredas, vías peatonales, ciclovías y canchas de tenis; pisos de zoológicos, granjas y jaulas de animales; o para cubiertas para piscinas, etc.

2.2.4 CRITERIOS DE DISEÑO.

Se consideran tres etapas en el procedimiento de diseño: un análisis de factibilidad, un dimensionamiento de los elementos principales y finalmente el diseño de los elementos de detalle.

- **Factibilidad.** El estudio de factibilidad permite determinar, en base a los antecedentes disponibles sobre las características del suelo y del agua subterránea, si se pueden infiltrar o no las aguas lluvias superficiales hacia el suelo bajo el pavimento, y si es conveniente o no utilizar un pavimento poroso.
- **Dimensionamiento.** El dimensionamiento de los pavimentos porosos y de sus elementos principales requiere disponer de las características del terreno y del suelo base, así como también de estudios hidrológicos e hidrogeológicos.
- **Diseño de detalle.** Una vez determinados los espesores de las capas del pavimento es necesario abordar el diseño de detalle, que se traduce en los planos de la obra y sus especificaciones técnicas generales y especiales.

En esta etapa se deberán dimensionar las cunetas, soleras y bermas, y demás elementos laterales necesarios, así como solucionar las condiciones de empalme y unión con los otros pavimentos conectados.

2.2.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO POROSO

Las diversas propiedades del concreto permeable dependen principalmente de su porosidad (porcentaje de vacíos), que a su vez depende del contenido de cemento, relación agua cemento, el nivel de compactación, y la gradación del agregado y su calidad. El tamaño de los poros en el material también afecta las propiedades de resistencia. Aunque el concreto permeable se ha utilizado para la pavimentación por más de 20 años en los Estados Unidos, sólo unas pocas investigaciones se han realizado para determinar su rendimiento.

Se vuelve de suma importancia la cantidad de agua en la mezcla, ya que es uno de los puntos críticos y más delicados a la hora de realizar las mezclas; se debe tener vigilada la mezcla y saber cuándo se necesita más agua o, por el contrario, cuándo se añadió mucha. Para saber esto se puede realizar una simple prueba donde se toma una pequeña cantidad de concreto y se forma en una pelota, esta debería prácticamente mantener su forma como se ejemplifica en las siguientes imágenes:

Ilustración 2: Concretos porosos con diferentes contenidos de agua, formados en una pelota: (a) muy poca agua, (b) cantidad de agua adecuada, (c) Mucha agua.





Fuente: Pervious Concrete Pavements (Paul D. Tennis)

2.2.6 TIPOS DE CONCRETOS POROSOS EN PAVIMENTOS

Los concretos permeables en pavimentos convencionales son diseñados para el paso de vehículos, por lo general, estos consisten en capas superpuestas de material de pavimento compactado y sellado superficial. Un aspecto integral de diseño de pavimento convencional, consiste en impedir la entrada de agua en el suelo, a través del sello o las juntas de pavimentación, para proteger la integridad de la capa base y sub base.

Existen diferentes tipos de pavimentos permeables, los cuales se pueden clasificar de acuerdo al material de su capa de rodadura. Estos se clasifican en dos grupos: Pavimentos de asfalto poroso y pavimentos de concreto poroso.

2.2.6.1 PAVIMENTOS PERMEABLES EN CONCRETO POROSO

Es el tipo de pavimento poroso más antiguo y consta de una capa de rodadura, conformada por una mezcla bituminosa de asfalto en pequeñas cantidades y agregados de tamaño grueso uniformemente gradados, reforzado con fibras de polímeros para contrarrestar la pérdida de resistencia por el aumento del porcentaje de vacíos (entre 15% y 20%).

El aumento del porcentaje de vacíos permite tener una superficie más permeable por donde el agua se puede infiltrar a la zona de almacenamiento o amortiguamiento, lo que mejora la tracción, la visibilidad, y disminuye la escorrentía superficial cuando ocurren los eventos lluviosos en la zona o vía en donde se es implementado.

Una segunda capa de arena filtrante que separa, la capa de rodadura de la capa de almacenamiento y llena los vacíos superficiales de esta última. Para evitar la colmatación del sistema en ocasiones esta se separa de la capa de rodadura por medio de un geotextil.

2.2.6.2 PAVIMENTOS PERMEABLES EN CONCRETO POROSO

La capa de rodadura de este pavimento consiste en una mezcla de agregados gruesos uniformemente gradados, y cemento y agua. La mezcla se desarrolla con una relación agua cemento para aumentar la resistencia, que al igual que en el primer caso la pérdida de resistencia es ocasionada por el aumento del porcentaje de vacíos. Esta mezcla ocasiona una estructura porosa de célula abierta por donde el agua puede fluir.

2.2.6.3 PAVIMENTOS POROSOS

Los sistemas de pavimento poroso de concreto y pavimento poroso asfáltico son propensos a la obstrucción de sus poros, alrededor de tres años después de la instalación, haciendo así que se experimente una pérdida de porosidad. Una vez totalmente obstruido, estos sistemas tienen que ser eliminados por completo y posteriormente sustituido. El reemplazo frecuente de estos sistemas hace que estos tipos de técnicas sean poco prácticas y costosas.

Los concretos permeables en pavimentos son diseñados específicamente para promover la infiltración de las aguas lluvias a través de las diferentes capas de base, lo cual da como resultado el manejo de aguas lluvias y beneficios ambientales. El agua lluvia es filtrada, ya sea recolectándola para su posterior reutilización o liberándola lentamente en suelos subyacentes o en sistemas de drenaje de aguas pluviales.

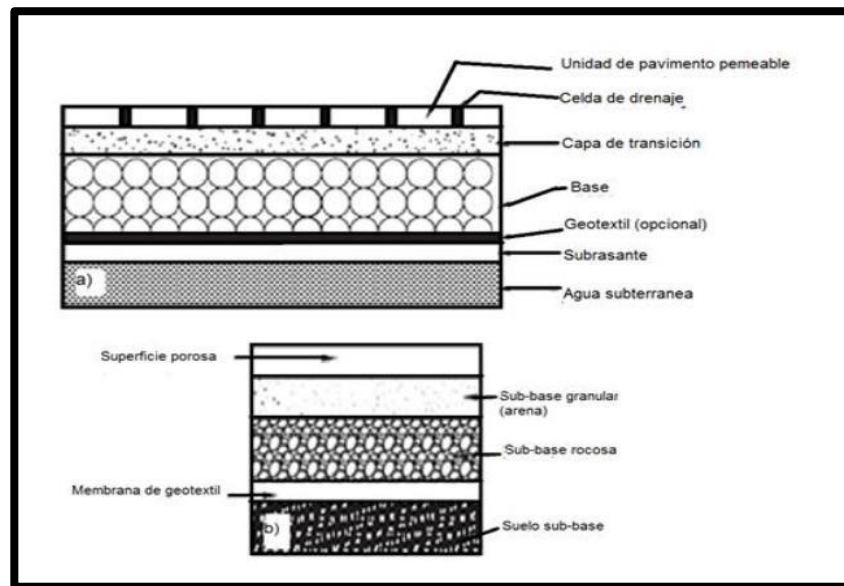
Ilustración 3: a) asfalto normal y poroso, b) concreto poroso



Fuente: Lucke et al., 2013)

La estructura más común de los pavimentos permeables y porosos consiste en tres capas (Ilustración 4): (i) una capa de rodadura que permite la entrada del agua, que puede ser en diferentes materiales como asfalto, concreto (pavimentos porosos), arcilla, grava, pasto (pavimentos permeables) (ii) una capa de material granular fino, la cual permite una instalación adecuada de la capa de rodadura y (iii) una capa compuesta por una matriz de material granular de gran tamaño, o por módulos o geo- células plásticas donde el agua se almacena (sub base).

**Ilustración 4: a) Disposición típica de un sistema de pavimento permeable,
b) Disposición típica de un sistema de pavimento poroso.**

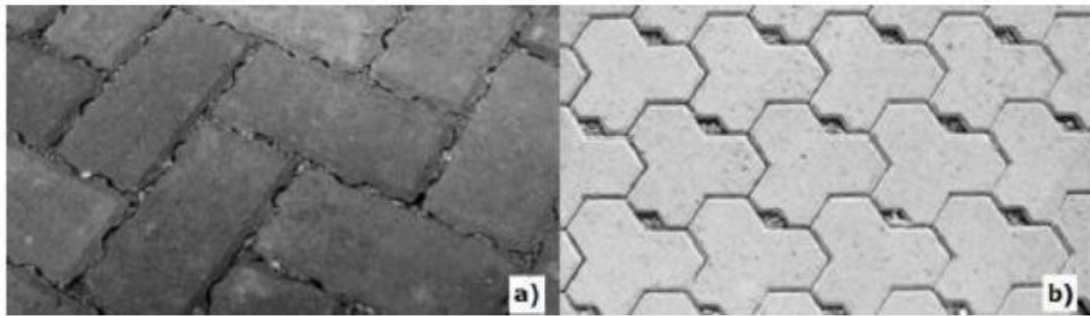


Fuente: Scholz & Grabowiecki, 2006

Los pavimentos permeables son diseñados específicamente para promover la infiltración de las aguas lluvias a través de las diferentes capas de base, lo cual da como resultado el manejo de aguas lluvias y beneficios ambientales. El agua lluvia es filtrada, ya sea recolectándola para su posterior reutilización o liberándola lentamente en suelos subyacentes o en sistemas de drenaje de aguas pluviales.

Existen varias formas de pavimentos permeables: el monolítico y el modular. Las estructuras monolíticas incluyen asfalto poroso y concreto poroso (Ilustración 5a), que permite la infiltración a través de la superficie del pavimento. El asfalto poroso es similar a una mezcla típica de asfalto, pero la porción fina de asfalto es omitida. Del mismo modo, en el concreto poroso la cantidad de agregados finos debe ser omitida.

Ilustración 5: Estructuras modulares con bloques a) juntas, b) aperturas.



Fuente: Lucke et al., 2013

La sub base puede utilizarse para infiltrar y retener el agua parcial o completamente como se muestra en las Ilustración 6, Ilustración 7 e Ilustración 8. En el caso de la infiltración, el suelo natural (sub rasante) debe tener la capacidad para recibir estas aguas (recarga de acuíferos) y en el caso de retención se utiliza cuando el suelo tiende a ser impermeable o cuando se quiere hacer uso de esta agua (aprovechamiento de agua lluvia)

Ilustración 6: Estructura del pavimento permeable de infiltración total.

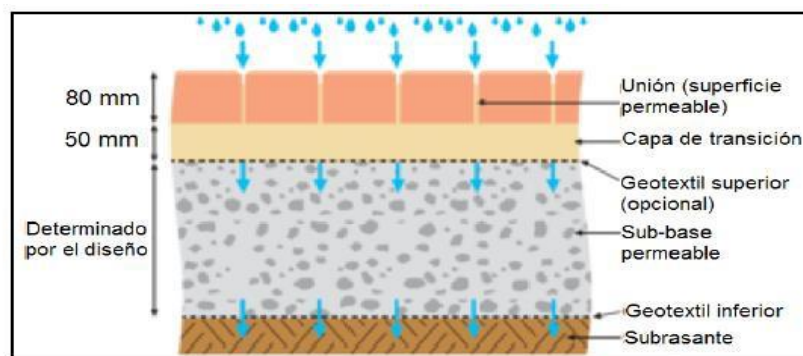


Ilustración 7: Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial.

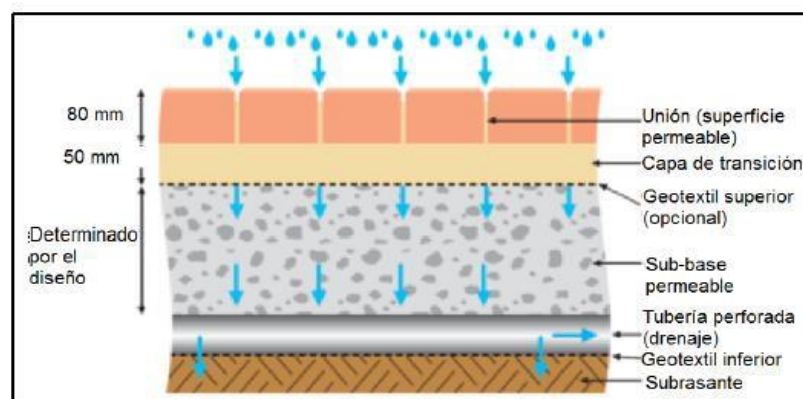
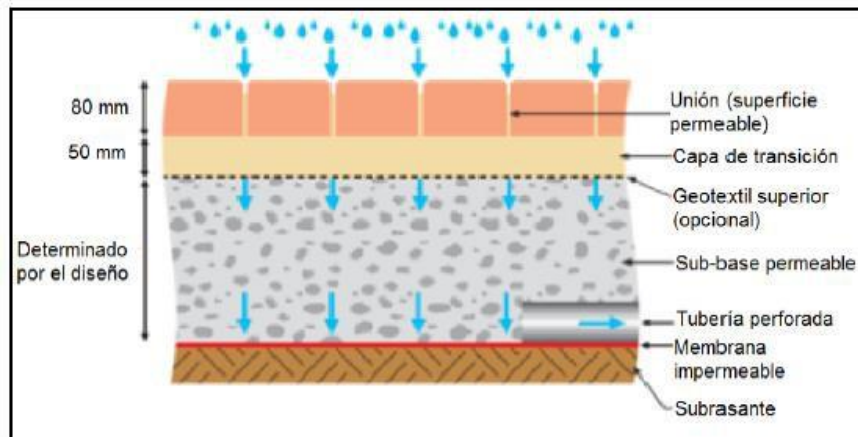


Ilustración 8: Estructura del pavimento permeable de infiltración nula



Fuente: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/104/10450491009/hyml/index.html>

2.2.6.4 FACTORES DE DETERIORO DEL CONCRETO

Presión.

La penetración de sustancias se ve fuertemente promovida por la variación en el régimen de vientos que permite la erosión generada por las partículas arrastradas, al igual que los ciclos de humedecimiento y secado y los ciclos de calentamiento y enfriamiento en especial, en estructuras sumergidas bajo el agua donde la presión ejerce un papel importante.

Humedad.

La presencia de agua es indispensable para que se genere deterioro y por lo tanto el estado de humedad en el concreto, más que en la atmósfera circundante es el factor más importante para considerar.

2.2.6.5 CAMPO DE APLICACIÓN

Actualmente, la aplicación más común del concreto permeable es en pavimentos de bajo tráfico en calles residenciales, parqueaderos, parques, áreas para peatones y bicicletas. El concreto poroso es un material desarrollado como parte de la solución a la problemática del manejo del agua en las ciudades. Actualmente el desarrollo urbano implica la construcción de grandes superficies impermeables que

interrumpen el ciclo natural del agua, lo que trae consecuencias negativas.

2.2.7 PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO POROSO, SEGÚN ACI 522-06 (2006)

Porcentaje de vacíos.

El porcentaje de vacíos que presentan las mezclas de concreto poroso varía según la energía de compactación, la granulometría del agregado utilizado, la relación agua/cemento y el contenido de material cementante utilizado.

La resistencia a la compresión uniaxial como el peso unitario de las mezclas de concreto permeable presentan una variación lineal con respecto al porcentaje de vacíos. En el caso de la permeabilidad, su variación es de forma exponencial con respecto al contenido de vacíos. La permeabilidad del concreto permeable aumenta con el porcentaje de vacíos mientras que la resistencia a la compresión uniaxial disminuye.

Tamaño máximo, procedencia y rugosidad o forma del agregado grueso.

En el concreto permeable, a diferencia del concreto convencional, la cantidad de pasta es limitada y por esta razón, la resistencia depende de los contactos entre los agregados. Estos contactos se pueden obtener usando agregados lisos y redondeados de río. Indican que estos agregados, por su forma y textura, disminuyen la cantidad de vacíos en comparación con las mezclas que utilizan agregados angulosos y rugosos. Las resistencias aumentan, ya que existe un menor contenido de vacíos en el material y esto genera trabazón entre las partículas.

En el caso de la permeabilidad, no existen diferencias importantes entre el uso de agregados de forma redondeada o angulosa. Indican que granulometrías más uniformes y de tamaño máximo menor sí disminuyen la

permeabilidad del concreto poroso, pero que su efecto no es tan pronunciado como la ganancia en resistencia que se obtiene.

Relación agua/cemento (w/c).

El balance adecuado entre permeabilidad y resistencia del concreto poroso puede lograrse con relaciones agua cemento entre 0,27 y 0,30. Estas relaciones son bajas y generan mezclas con poca trabajabilidad. El principal inconveniente de aumentar las relaciones agua cemento, en un material tan poroso como el concreto permeable, es que la pasta puede escurrir por gravedad a través de los conductos internos hacia el fondo del elemento (losa, cilindro, etc.), obstruyéndolos e impidiendo así el paso del agua. Si esto ocurre, pueden obtenerse valores de resistencia a la compresión uniaxial aceptables, pero permeabilidades muy bajas.

Relación agregado grueso/cemento (AG/c).

Relaciones bajas agregado/cemento implican que existe un mayor porcentaje de pasta, capaz de proveer mejores enlaces entre las partículas de agregado y con ello aumentar las resistencias. Sin embargo, este aumento porcentual de pasta implica que se rellenen mayor cantidad de vacíos lo cual provocará disminuciones en la permeabilidad.

Uso de aditivos.

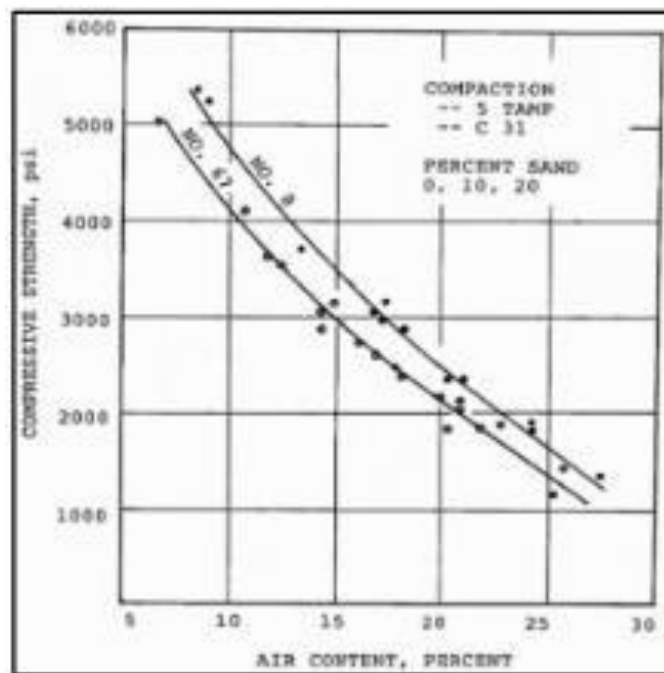
Usualmente las mezclas requieren el uso de plastificantes, reguladores de viscosidad y retardantes. El uso de otros aditivos como sílice, látex, fibras o cenizas volantes mejora las características del material, pero eleva los costos. El efecto de los aditivos en las mezclas mejora las resistencias y no afecta de forma importante la permeabilidad. Fernández et al. (2001) reconoce la realidad latinoamericana y recomienda analizar con detalle este aspecto para no elevar el costo de las mezclas.

2.2.8 PRINCIPALES VARIABLES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE

2.2.12.1. CONTENIDO DE VACÍOS

La relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión para agregados gruesos de diferente gradación y para distintos esfuerzos de compactación (Meininger,1988).

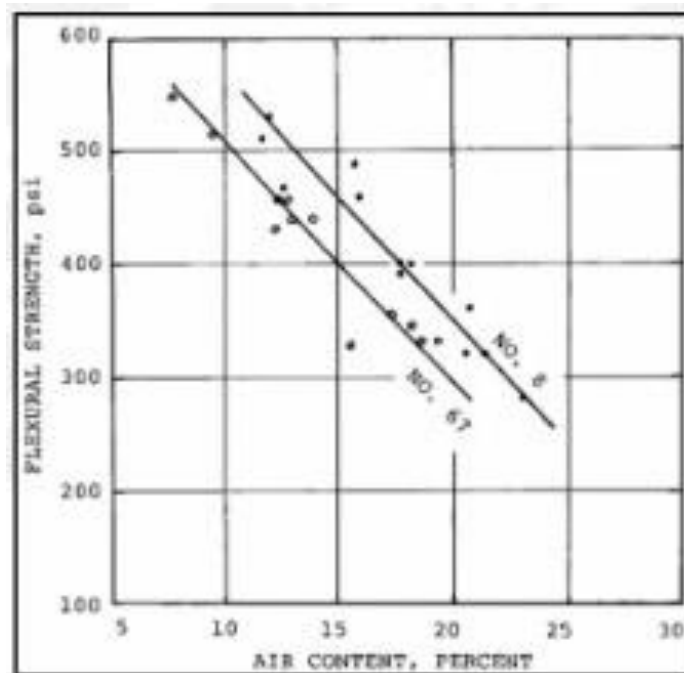
Ilustración 9: Relación entre la Resistencia a la Compresión y el Contenido de Vacíos



Fuente: (Meininger,1988).

Se observa, que para contenidos de vacíos del 10% se logran resistencias aproximadas de 4100 psi (288 kg/cm²) y 4800 psi (337 kg/cm²) para gravas del N°67 y 8, respectivamente. Para un contenido de vacíos de 15%, se logran aproximadamente 3000 (210 kg/cm²) y 3500 (246 kg/cm²) para gravas del N°67 y 8, respectivamente. Para un contenido de vacíos de 20%, se logran aproximadamente 2100 (147 kg/cm²) y 2500 (175 kg/cm²) para gravas del N°67 y 8, respectivamente.

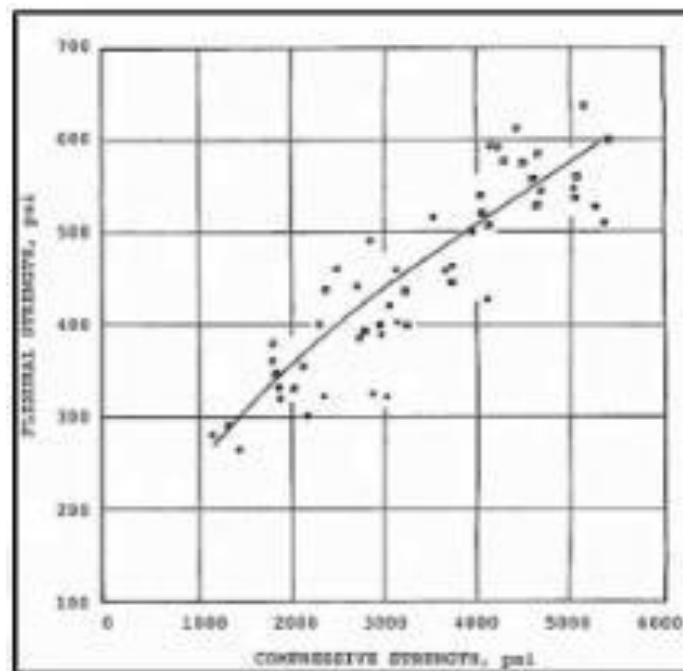
Ilustración 10: Relación entre la resistencia a la flexión y el contenido de vacíos



Fuente: (Meininger,1988).

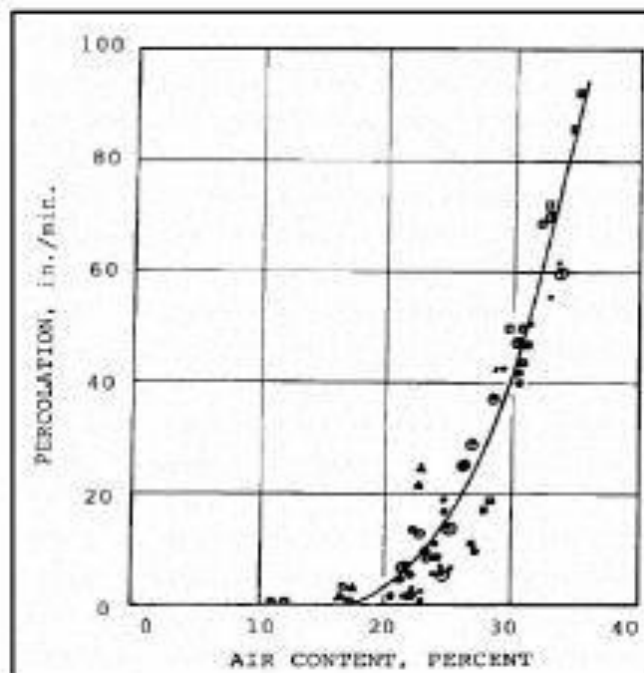
Se muestra la relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la tracción por flexión para agregados gruesos de diferente gradación. Se puede observar que para un contenido de vacíos del 10% se logran alcanzar aproximadamente un módulo de ruptura de 510 psi (35 kg/cm²) y de 550 15psi (38.6 kg/cm²) para una grava N°67 y 8, respectivamente. Para un contenido de vacíos de 15%, se logran aproximadamente 400 (kg/cm²) y 460 (kg/cm²) para gravas del N°67 y 8, respectivamente. Para un contenido de vacíos de 20%, se logran aproximadamente 290 (kg/cm²) y 350 (kg/cm²) para gravas del N°67 y 8, respectivamente.

Ilustración 11: Relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión



Fuente: (Meininger,1988).

Ilustración 12: Relación entre el grado de infiltración y el contenido de vacíos



Fuente: (Meininger,1988)

Ya que existe una relación entre el contenido de vacíos y las resistencias a la compresión y la tracción por flexión, se puede, también, construir una gráfica que relacione ambas resistencias. Se muestra esta relación entre

resistencias del concreto permeable para una serie de ensayos de laboratorio. Se muestra también la relación entre el contenido de vacíos y el grado de infiltración de una mezcla de concreto permeable. En esta se observa que la infiltración es muy baja cuando el contenido de vacíos de las muestras se encuentra menor a 15%. Por tanto, se deben obtener mezclas con un contenido de vacíos mayor a un 15% para asegurar el flujo del agua.

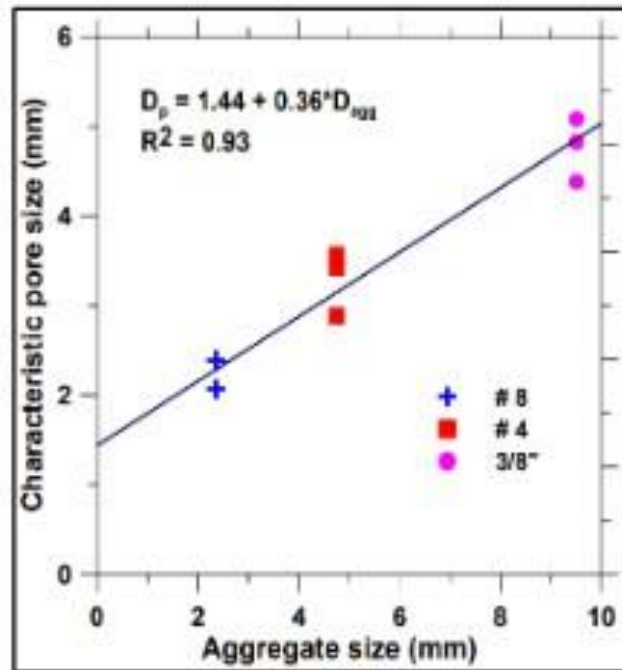
2.2.9 TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL Y FORMA DEL AGREGADO GRUESO

Según diversos estudios, se ha establecido que una granulometría no uniforme con casi la totalidad de su porcentaje de un mismo tamaño de agregado (es decir, una distribución granulométrica estrecha) produce un hormigón de una permeabilidad en un rango entre moderado a alto, sin embargo, este aspecto va en inversamente proporcional a las propiedades de resistencia a la compresión simple y flexión.

Para asegurar la mínima porosidad en el concreto permeable, la relación del tamaño del diámetro entre el agregado más grande y el agregado más pequeño no supere una ratio de 2.5. De lo contrario, los agregados de menor tamaño llenarán los vacíos dejados por los agregados de gran tamaño disminuyendo la porosidad y la permeabilidad.

Se muestra la influencia del tamaño del agregado grueso en el tamaño del poro en las mezclas de concreto permeable. Se observa que se obtienen tamaños de poro de hasta 5 mm utilizando el agregado Tamaño Nominal de 3/8"

Ilustración 13: Influencia del tamaño del agregado grueso en el tamaño del poro en las mezclas de concreto permeable de un solo tamaño de agregado



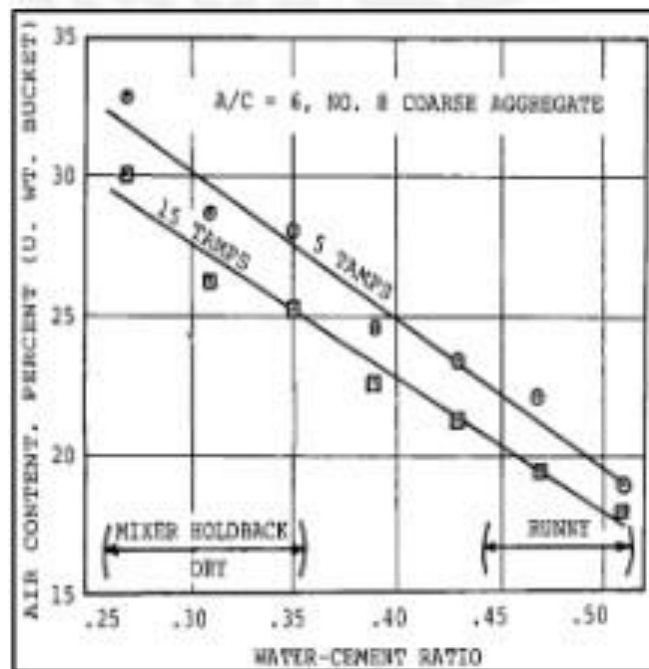
Fuente: (Neithalath, 2004)

2.2.10 RELACIÓN AGUA - CEMENTO

La relación agua/cemento (w/c) es importante para lograr una adecuada resistencia a la compresión, sin embargo, no es posible utilizar la relación entre ambas hechas para concreto convencional (ACI 522R-10, 2010). Un alto w/c puede ocasionar que la pasta fluya entre los agregados, obstruyendo los vacíos entre ellos; por otro lado, un bajo w/c puede provocar poca adhesión entre los agregados y generando problemas de trabajabilidad.

Se muestra la relación entre el contenido de vacíos y la relación w/c. Los contenidos de cemento y agregado se mantienen constantes y está realizado para dos casos de compactación.

Ilustración 14: Relación entre el contenido de vacíos y la relación w/c



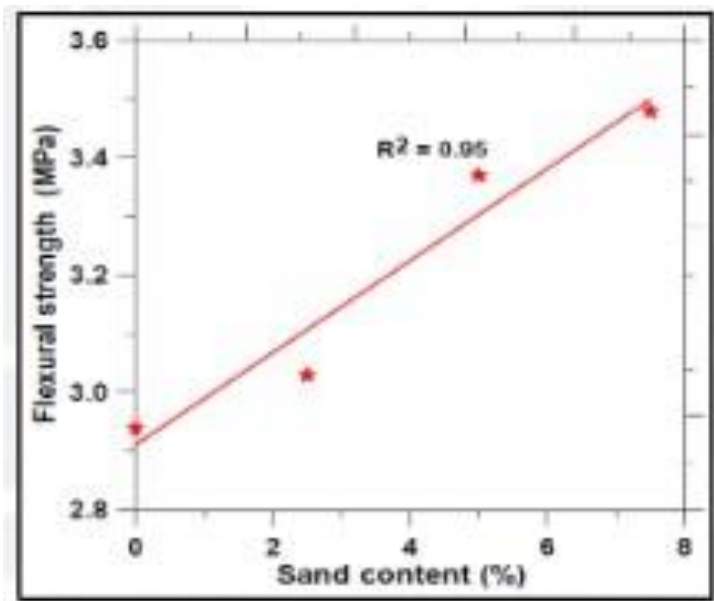
Fuente: (Meininger,1988)

La ley tradicional de relación w/c no se aplica a estas mezclas; debido a las grandes diferencias en el contenido de vacíos y la dificultad de manipulación y compactación de mezclas con relaciones w/c muy bajas.

2.2.11 USO DEL AGREGADO FINO

Se muestra la influencia del uso de agregado fino sobre la resistencia a la flexión en la mezcla para concreto permeable. La arena reemplazó el 2.5, 5 y 7.5% del agregado grueso (N°8). Como se aprecia en la gráfica, un poco de contenido de arena incrementa la resistencia a la flexión significativamente. En caso de que se requiera incrementar la resistencia a la flexión de nuestras mezclas, se podría utilizar arena para cumplir con los requerimientos mínimos. Se debe tener cuidado al usarse, ya que al llenar los poros y aumentar la resistencia, también afecta la permeabilidad.

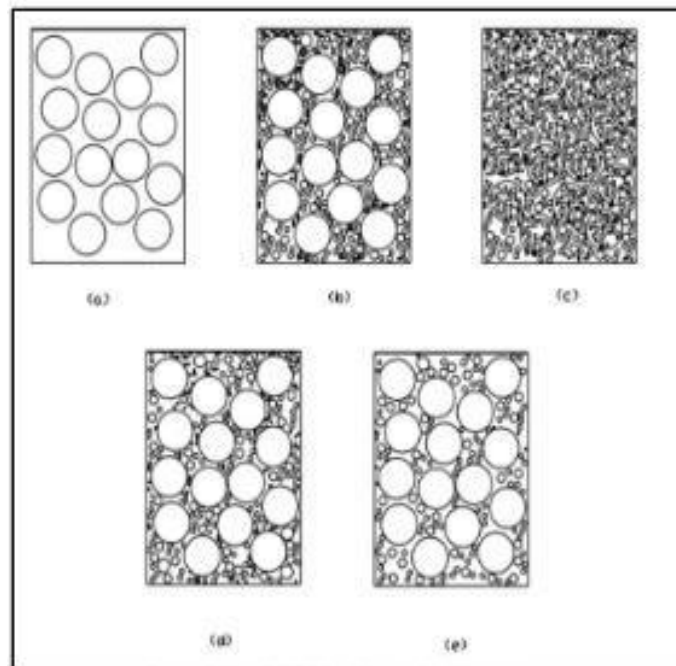
Ilustración 15: Influencia del uso de agregado fino en la resistencia a la flexión



Fuente: (Neithalath, 2004)

La adición de arena (aproximadamente 5% de su volumen) incrementa la resistencia a tracción por flexión del concreto permeable. Esto debido a que, al haber mayor rango de tamaños por la adición de finos, estos ocupan los espacios vacíos dejados por las partículas más grandes, disminuyendo de este modo los espacios vacíos.

Ilustración 16: Representación esquemática de la granulometría de los agregados en un ensamble de agregados: (a) tamaño uniforme, (b) granulometría continua, (c) reemplazo de partículas pequeñas por partículas grandes, (d) granulometría discontinua, (e) granulometría



Fuente: (Céspedes García, 2003)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **AGREGADOS:** Las granulometrías del agregado usado en el concreto permeable típicamente son, ya sea de agregado grueso de un solo tamaño o granulometría de entre 3/4 y 3/8 de pulgada (19 y 19.5 mm).
- **AGUA:** La calidad del agua para el concreto permeable está gobernada por los mismos requisitos que para el concreto convencional. Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua-cemento (w/a) relativamente baja (0.30 a 0.40), ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar pasta y al atascamiento del sistema de poros.
- **ADITIVOS:** Los aditivos deben de satisfacer los requisitos de ASTM C 494. Los aditivos reductores de agua (de alto o mediano rango) se usan dependiendo de la relación w/c. Los aditivos retardadores se usan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento.
- **CEMENTO:** El cemento Pórtland que satisface las normas ASTM C 150, C 595, o C 1157, se usa como aglomerante principal. También pueden usarse materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria, y el humo de sílice, los cuales deben de satisfacer los requisitos de ASTM C 618, C 989, y C 1240, respectivamente.
- **CONCRETO POROSO:** Se define como un concreto de alta porosidad o alto porcentaje de vacíos, cuya función principal es la infiltración de agua. Está compuesto por la mezcla de cemento portland, agregado grueso, poca o ninguna cantidad de agregado fino, aditivos y agua.
- **INFILTRACIÓN:** Según el ACI 522R-10 (2010) “es una de las propiedades más importantes del concreto permeable es la capacidad de infiltrar agua a través de su estructura. La infiltración está directamente relacionada con la porosidad y el tamaño de los vacíos del concreto permeable”
- **RELACIÓN DE VACÍOS:** Es una relación entre el volumen de vacíos y el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo o concreto.

- **PAVIMENTO:** El pavimento forma parte del firme y es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.
- **ESCORRENTÍA:** La escorrentía es una corriente de agua de lluvia que circula sobre la superficie de la tierra cuando rebasa un depósito natural o superficial. La escorrentía también se puede conocer como escurrimiento o aliviadero.
- **ZONA URBANA:** Se considera que una zona urbana se caracteriza por estar habitada de forma permanente por más de 2.000 habitantes. La actualización de los modelos de desarrollo urbano ha ocasionado que la densidad de población, la extensión geográfica y el planeamiento y creación de infraestructuras se combinen para ser factores claves en la delimitación de esta clase de áreas.
- **DRENAJES:** Los coeficientes de capa, son los que se ajustan con factores mayores o menores que la unidad para tomar en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad cerca de la saturación

CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la provincia de San Martín el clima es tropical, por lo tanto, genera una gran cantidad de lluvia, aún en el mes más seco (julio), la mayor cantidad de precipitación ocurre en el mes de noviembre hasta mayo aproximadamente.

En la actualidad, la mayoría de las calles del distrito de Morales están pavimentadas en el casco urbano, sin embargo, estos pavimentos convencionales ocasionan impermeabilizaciones importantes en el espacio urbano, lo cual aumenta los riesgos de inundación.

En las últimas décadas, el distrito de Morales, viene presentando problemas en la evacuación de aguas pluviales en periodos de lluvias, una de las causas principales de este problema es el cambio climático. Además, los efectos de este cambio han incrementado la intensidad de las lluvias. Por lo tanto, existe la necesidad de utilizar herramientas que permitan mantener los centros urbanos en adecuadas condiciones de transitabilidad.

En este contexto, esta investigación pretende encontrar una solución al problema de drenaje pluvial a través del uso del concreto permeable para el control del drenaje pluvial en el distrito, material caracterizado por su alta capacidad de infiltración a través de sus poros interconectados para dar una mejor evacuación de las aguas proveniente de las lluvias hacia los drenes.

En este contexto, esta investigación pretende encontrar una solución al problema de drenaje pluvial a través del uso del concreto permeable, material caracterizado por su alta capacidad de infiltración a través de sus poros interconectados para dar una mejor evacuación de las aguas proveniente de las lluvias hacia los drenes.

Asimismo, dicho problema no permite tener facilidades para el traslado de los vehículos y peatones, generando en la mayoría de los casos, pérdidas económicas y humanas. Por ello, se ha determinado que una de las causas principales es el estudio inadecuado de hidrología, la ineficiencia en los

diseños de los pavimentos para la captación de lluvia, los cuales han generado que los sistemas de drenaje urbanos se vean saturados o en muchos casos colapsen.

La implementación del concreto drenante tiene como finalidad mitigar el impacto de las escorrentías en las vías. Por ello se debe tener en cuenta que ante la indiferencia de este problema las zonas viales pueden verse afectadas en gran magnitud por inundaciones y desgastes de las mismas, ocasionando la ineficiente circulación del tránsito vehicular y con ello perjudicando la comunicación entre pobladores. Las precipitaciones pluviales en el departamento de San Martín, durante los meses de noviembre hasta mayo, son muy elevadas, superando el rango normal de precipitaciones, las cuales de ser moderadas pasan a ser precipitaciones muy fuertes.

Es así, que, en nuestro lugar de estudio, el distrito de Morales, se presentan fuertes precipitaciones pluviales, siendo los principales problemas, las mencionadas líneas arriba. La presencia de aguas de escorrentía en las vías de tránsito, es una problemática que debemos solucionar en las ciudades donde se presentan, como es nuestro caso de investigación.

3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema general

¿En qué medida el diseño de pavimento de concreto poroso podría mejorar el control de drenaje pluvial en el distrito de Morales, provincia y departamento de San Martín?

Problemas específicos

- ¿En qué medida las precipitaciones pluviales podrían influir en el diseño del concreto poroso?
- ¿En qué medida la permeabilidad del concreto tiene influencia con el diseño de concreto poroso?

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 Objetivo General

Diseñar un concreto poroso a fin de mejorar el sistema de control del drenaje pluvial de las calles del distrito de Morales, provincia y departamento de San Martín.

3.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar las mezclas de concreto poroso con distintas proporciones de vacíos. Y a la vez determinar el diseño de mezcla óptimo.
- Realizar los ensayos según la norma ASTM C1707 para concreto poroso endurecido.
- Determinar el cumplimiento de los requisitos mínimos de resistencia a la compresión para el uso como capa de rodadura en vías locales y pavimentos especiales según la CE. 010 pavimentos urbanos.
- Evaluar el coeficiente de infiltración del diseño de mezcla óptimo de vacíos.

3.4 JUSTIFICACIÓN

La investigación se justifica debido a que presentará una solución al problema de drenaje pluvial en vías urbanas en la ciudad de Morales, esto originado por las lluvias en la zona, es aplicable generalmente en zonas de poca pendiente, ya que es muy costoso hacer estructuras de descargas debido a su longitud hasta las entregas.

En este sentido la investigación aportará una solución que se podrá aplicar en otras zonas del país y el mundo, de acuerdo a las especificaciones técnicas y parámetros utilizados en este trabajo

3.5 HIPÓTESIS

3.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

Es posible elaborar mezclas de concreto poroso que puedan drenar la escorrentía superficial en vías urbanas y pavimentos ante situaciones de precipitaciones extremas.

3.6 VARIABLES:

Variable Independiente

Concreto poroso.

Variable Dependiente

Drenaje pluvial.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

1.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Tipo de Investigación

La investigación realizada tiene un enfoque mixto cualitativo y cuantitativo.

1.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población:

Todas las calles del distrito de Morales, provincia y departamento de San Martín.

Muestra:

Jr. Primero de Mayo cuadra 01 a la cuadra 04.

1.3 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS, PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la investigación se utilizará como técnica principal los Ensayos de Laboratorio para la recolección de datos, los ensayos a los especímenes de concreto poroso para su aplicación en pavimentos que se realizarán en la presente investigación serán: ensayo de compresión a los 7, 14 y 28, ensayo de resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días y el ensayo de permeabilidad, a la edad de 28 días.

1.3.2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la investigación se utilizará el Formato de Pruebas entregado por el Laboratorio después de realizar los ensayos correspondientes, los documentos son formatos estandarizados de acuerdo con normas ASTM C39, ASTM C293 y ACI 522R-10.

1.3.3 PROCEDIMIENTOS

Los procedimientos se regirán por documentos estandarizados por normas ASTM y por haber sido realizado por profesionales altamente capacitados y especializados en la materia, se confiará en los resultados y no requiere validación, tampoco la determinación de la confiabilidad.

1.3.4 PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

Los procedimientos que se seguirán en la recolección de datos son:

- Elaboración de los ensayos de laboratorio.
- Validación y confiabilidad de los ensayos de recolección de datos.
- Procesamiento de los datos.
- Organización de los datos en cuadros.
- Representación de los datos mediante tablas y gráficos.
- Análisis e interpretación de los datos.
- Elaboración del informe de la tesis.

1.3.5 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

La información será procesada en forma computarizada utilizando el paquete estadístico computacional EXCEL, sobre la base de datos. El procesamiento de la información permitirá elaborar la matriz de datos con la que se diseñará las tablas y gráficos.

1.4 METODOS DE ANALISIS DE DATOS

1.4.1 ANALISIS DE DATOS

En primer lugar, se procederá a realizar el Diseño de la Mezcla de Concreto Poroso para su aplicación en Pavimentos, teniendo en cuenta los criterios que dicta el ACI 522R-10 tales como la elección de los materiales y su respectiva caracterización, relación de agua/cemento y el porcentaje de vacíos. Todo esto teniendo en consideración la Resistencia a la Compresión que se desea obtener para que el Concreto Poroso diseñado cumpla los requisitos mínimos dictados por

el MTC y la norma CE-010, y de esta manera pueda ser aplicado en Pavimentos Rígidos. De la mezcla de Concreto Poroso obtenida se procederán a realizar probetas y viguetas que serán sometidas a ensayos y de esta manera obtener los datos necesarios para su posterior análisis.

Los datos recopilados en el Laboratorio por medio de las probetas y viguetas se procesarán y analizarán con estadística de organización y graficación. Este análisis se realizará en base a los gráficos de evolución de la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

1.4.2 MEZCLA DE CONCRETO POROSO

Uno de los objetivos de la investigación en esta tesis ha sido encontrar una dosificación adecuada para la elaboración de hormigón poroso con materiales locales, de resistencia y permeabilidad suficiente, para su empleo como pavimento permeable en zonas de bajo volumen de tránsito que permita un adecuado escurrimiento pluvial para una mejor gestión de las aguas de lluvia.

1.4.3 MATERIALES Y DOSIFICACIONES

De acuerdo al análisis bibliográfico y adaptado a los materiales locales, se planteó la primera dosificación, denominada serie A, la cual sirvió como hormigón patrón. En esta dosificación se fijó la relación pasta/agregado grueso, la relación a/c y la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón. En las dosificaciones se consideró a los agregados en estado saturado superficie seca.

1.4.4 MÉTODO PARA ELABORACIÓN DEL MATERIAL

Todas las mezclas se elaboraron en hormigonera de eje inclinado en laboratorio y la colocación de materiales se realizó para todas las series con la misma secuencia de carga y homogenización para evitar variaciones en las características del hormigón en estado fresco o

endurecido. En el siguiente cuadro se puede observar la secuencia de carga de materiales y homogenización de la mezcla.

Cuadro 1: Secuencia de carga de materiales y homogeneización de la mezcla

AGREGADO GRUESO + CEMENTO + ADICIONES	HOMOGENEIZACIÓN	70 % AGUA + 50 % ADITIVO	HOMOGENEIZACIÓN	30 % AGUA RESTANTE + 50% ADITIVO RESTANTE	HOMOGENEIZACIÓN
--	-----------------	--------------------------------	-----------------	---	-----------------

Fuente: Elaboración propia

Luego de la homogeneización de la mezcla, se prepararon las muestras para la realización de ensayos en estado fresco y moldeo de probetas para la realización de ensayos en estado endurecido.

1.4.5 ENSAYOS SOBRE MATERIAL EN ESTADO FRESCO

ENSAYO DE ASENTAMIENTO DE TRONCO DE CONO DE ABRAMS INVERTIDO (NRMCA) En la siguiente ilustración se puede observar la secuencia de ensayo de Tronco de cono de Abrams invertido para la mezcla de la serie K. En general, los resultados de este ensayo, al ser cuantitativos, sirvieron para corregir las dosificaciones posteriores y controlar parámetros de las mezclas en estado fresco.

Ilustración 17: Ensayo de Tronco de cono de Abrams invertido para la serie K



Fuente: Fotografía de laboratorio

1.4.6 ENSAYO DE ASENTAMIENTO CON TRONCO DE CONO DE ABRAMS DE ACUERDO A NORMA IRAM 1536

El ensayo se realizó sólo a los fines de verificar un asentamiento nulo o máximo de 20 mm, que es lo recomendado por bibliografía para este tipo de hormigones. Es sólo una recomendación y no una un ensayo obligatorio. A demás, este ensayo permite evaluar a posterior la posible segregación de la pasta respecto del agregado total.

En las siguientes ilustraciones se puede observar el ensayo de tronco de cono y luego se aplana la masa de hormigón con una cuchara de albañil y se observa la cantidad y facilidad con que aparece la pasta cementicia.

Ilustración 18: Ensayo de asentamiento para la serie K



Fuente: Fotografías de laboratorio

Ilustración 19: Evaluación de posible segregación de pasta en la serie K



Fuente: Fotografía de laboratorio

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 ANALISIS DEL SLUMP

Se realizó el ensayo de medición del asentamiento del concreto poroso en estado fresco con Cono de Abrams y se obtuvieron diferentes asentamientos las cuales se resumen mediante la siguiente tabla:

Tabla 1: Análisis de Slump del Concreto Poro

Diseño	Slump < 1/2"
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	SI
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	NO
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	SI

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que los diseños con poca o nula presencia de agregado fino se mantienen menores a 1/2" por qué conservan su propiedad de "Cero Slump". Los diseños que contienen arena suelen asentarse más de 1/2", debido a que la presencia de la misma causa que el agregado grueso, al ser un material granular y de mayor tamaño, se asiente con mayor rapidez.

5.2 ANALISIS Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se realizó el ensayo de la determinación de la Resistencia a la Compresión de un concreto poroso en estado endurecido, donde se obtuvieron las cargas máximas que los especímenes soportaron al ensayarlos en la Prensa Hidráulica Digital. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de las resistencias de compresión de cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla 2: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la compresión

DISEÑO	DÍAS	ESPECÍMENES	R	R prom
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	7 DÍAS	P1-A	23.91	24.13
		P1-B	24.35	
	14 DÍAS	P1-C	25.05	27.06
		P1-D	29.07	
	28 DÍAS	P1-E	41.37	51.30
		P1-F	61.23	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P2-A	64.12	65.56
		P2-C	67.00	
	14 DÍAS	P2-E	62.42	70.96
		P2-F	79.50	
	28 DÍAS	P2-G	103.86	103.26
		P2-H	102.67	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P3-A	59.87	65.17
		P3-C	70.47	
	14 DÍAS	P3-D	107.16	113.17
		P3-E	119.19	
	28 DÍAS	P3-F	107.65	120.72
		P3-G	133.79	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	P4-A	38.22	34.18
		P4-B	30.14	
	14 DÍAS	P4-C	38.02	40.55
		P4-D	43.08	
	28 DÍAS	P4-E	53.60	57.75
		P4-F	61.89	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	7 DÍAS	P5-A	111.44	107.22
		P5-B	103.00	
	14 DÍAS	P5-C	141.54	134.76
		P5-D	127.97	
	28 DÍAS	P5-E	175.25	177.98
		P5-F	180.72	

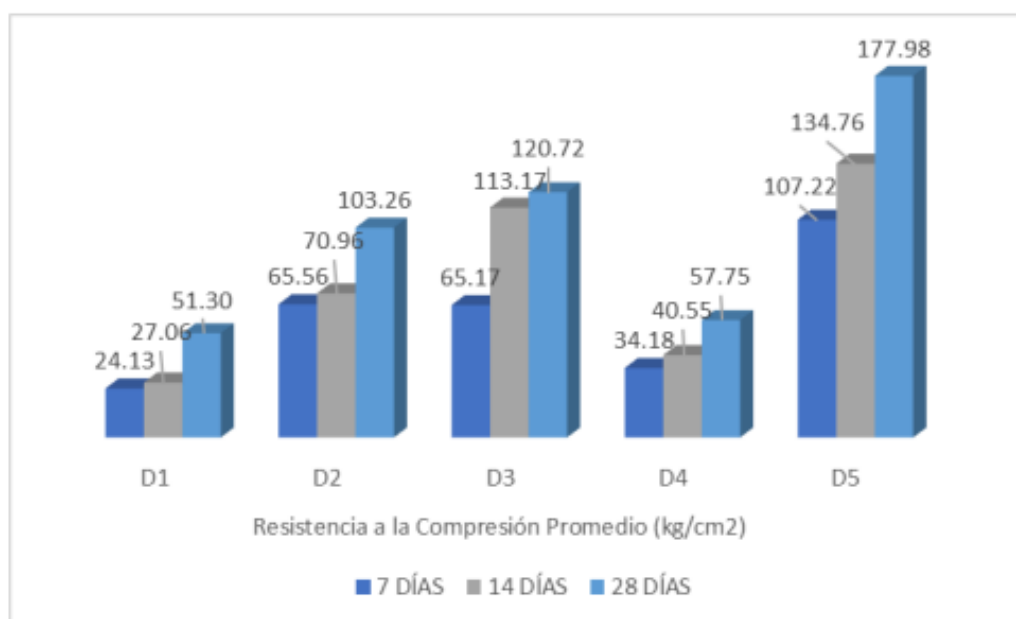
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo

Edad de Ensayo	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)				
	D1	D2	D3	D4	D5
7 DÍAS	24.13	65.56	65.17	34.18	107.22
14 DÍAS	27.06	70.96	113.17	40.55	134.76
28 DÍAS	51.30	103.26	120.72	57.75	177.98

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 1: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños

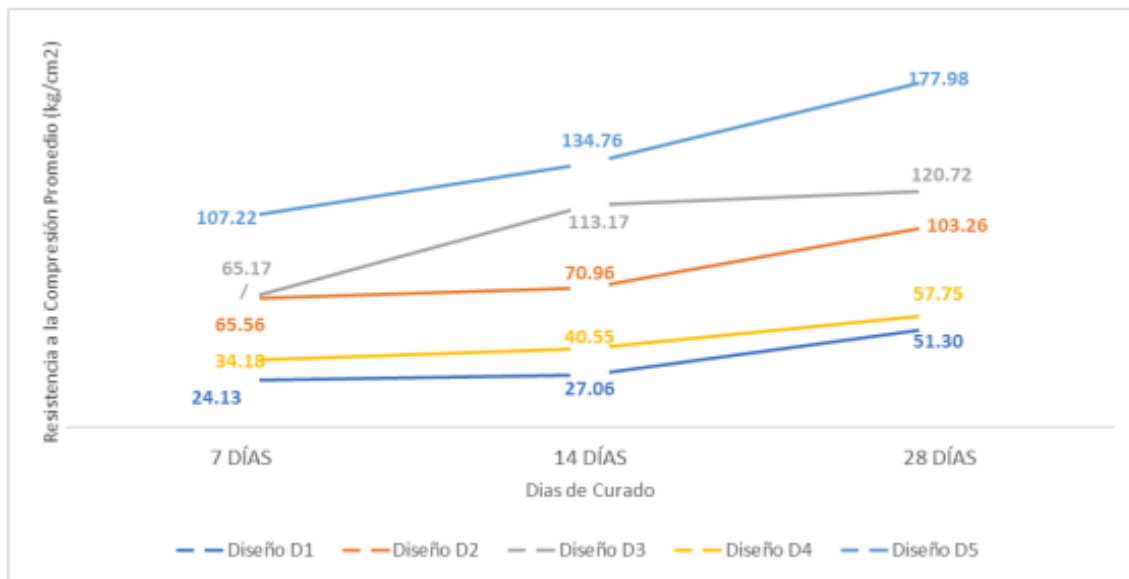


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 1 y el Gráfico 3, la resistencia a la compresión aumenta progresivamente al pasar de los días de curado. Para los 7 días de curado, se observa que la más baja resistencia le corresponde al Diseño 1, esto es debido a que dicho diseño no posee agregado fino y por ende tiene poca resistencia. También se observa que la mayor resistencia a la compresión le corresponde al Diseño 5, la cual tiene 10% de agregado fino y por ende, tiene más agregado grueso y cemento la cual le brinda dicha resistencia. En los 14 días se observa que el mayor aumento de resistencia lo obtuvo el Diseño 3, casi el doble de su predecesora. En 28 días se logró una resistencia a la compresión de 177.98 kg/cm² por parte del Diseño 5, la cual es la máxima resistencia lograda de los diseños.

En el siguiente gráfico se mostrarán las resistencias promedio obtenidas con respecto a los días de curado.

Gráfico 2: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los días de curado



Fuente: Elaboración Propia

5.3 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Se realizó el ensayo de la determinación de la Resistencia a la Flexión de un concreto permeable en estado endurecido, donde se obtuvieron las cargas máximas que los especímenes soportaron al ensayarlos en la Prensa Hidráulica Digital. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de las resistencias de flexión de cada uno de los especímenes ensayados.

Tabla 4: Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la flexión

DISEÑO	DÍAS	ESPECÍMENES	MR (Kg/cm2)	MR prom
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	7 DÍAS	V1-A	9.36	9.85
		V1-B	10.35	
	14 DÍAS	V1-C	15.20	15.38
		V1-D	15.55	
	28 DÍAS	V1-E	22.02	22.35
		V1-F	22.68	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	V2-A	21.56	19.89
		V2-B	18.22	
	14 DÍAS	V2-C	23.49	21.54
		V2-D	19.59	
	28 DÍAS	V2-E	31.87	30.29
		V2-F	28.71	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	7 DÍAS	V3-A	21.33	22.73
		V3-B	24.13	
	14 DÍAS	V3-C	28.97	31.48
		V3-D	33.98	
	28 DÍAS	V3-E	26.56	32.50
		V3-F	38.44	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	28 DÍAS	V4-A	11.45	17.08
		V4-B	22.72	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	14 DÍAS	V5-A	30.12	29.94
		V5-B	29.76	
	28 DÍAS	V5-C	38.69	45.07
		V5-D	51.46	

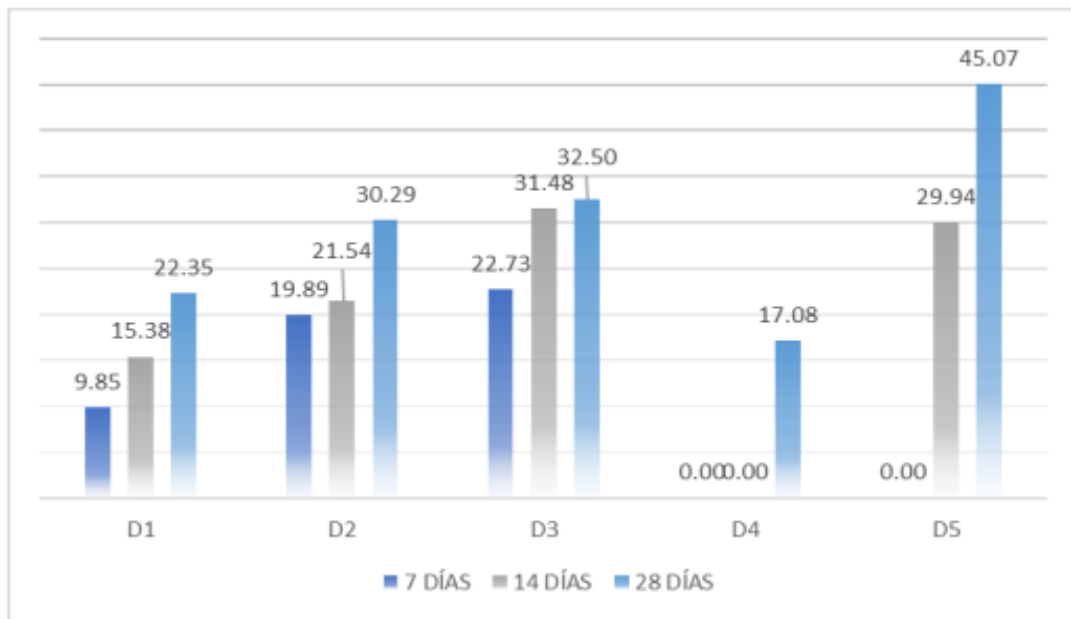
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Resumen de la Resistencia a la compresión en relación a la edad de ensayo

Edad de Ensayo	Resistencia a la Flexión Promedio (kg/cm2)				
	D1	D2	D3	D4	D5
7 DÍAS	9.85	19.89	22.73	-	-
14 DÍAS	15.38	21.54	31.48	-	29.94
28 DÍAS	22.35	30.29	32.50	17.08	45.07

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 20: Resistencia a la Compresión Promedio con respecto a los diseños



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 5 y el Gráfico 3, la resistencia a la flexión aumenta progresivamente al pasar de los días de curado. Para los 7 días de curado, se observa que la más baja resistencia le corresponde al Diseño 1, esto es debido a que dicho diseño no posee agregado fino y por ende tiene poca resistencia. En los 14 días se observa que la mayor resistencia a la flexión o Módulo de Rotura pertenece al Diseño 3 que es 31.48 kg/cm², cerca le sigue el Diseño 5 con 29.94 kg/cm². En 28 días se logró una resistencia a la flexión de 45.07 kg/cm² por parte del Diseño 5, la cual es la máxima resistencia lograda de los diseños.

5.4 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE VACÍOS

Se realizó el ensayo de la determinación de la Densidad y Relación de Vacíos de un concreto permeable en estado endurecido, donde se aplicó el procedimiento normado. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de lo calculado.

Tabla 6: Densidad y Relación de Vacíos de los especímenes

DISEÑO	ESPECÍMENES	CONTENIDO DE VACÍOS TEÓRICO	DENSIDAD (kg/m ³)		CONTENIDO DE VACÍOS	
			DENSIDAD	PROM	% VACÍOS	PROM
DISEÑO N° 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	P1-A	15.00%	1804.00	1800.42	29.55%	29.43%
	P1-B	15.00%	1796.84		29.31%	
	P1-C	15.00%	1789.05	1815.14	32.21%	31.64%
	P1-D	15.00%	1841.24		31.07%	
	P1-E	15.00%	1754.90	1934.74	33.45%	25.92%
	P1-F	15.00%	2114.59		18.39%	
DISEÑO N° 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	P2-A	15.00%	1965.23	1911.16	21.13%	25.15%
	P2-C	15.00%	1857.09		29.18%	
	P2-E	15.00%	1989.05	2046.50	21.13%	18.87%
	P2-F	15.00%	2103.95		16.61%	
	P2-G	15.00%	2201.49	2183.40	15.67%	15.26%
	P2-H	15.00%	2165.30		14.85%	
DISEÑO N° 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	P3-A	10.00%	1935.30	1991.41	23.80%	21.75%
	P3-C	10.00%	2047.52		19.69%	
	P3-D	10.00%	2079.85	2056.73	15.85%	17.61%
	P3-E	10.00%	2033.60		19.37%	
	P3-F	10.00%	2150.61	2095.10	12.02%	15.28%
	P3-G	10.00%	2039.59		18.54%	
DISEÑO N° 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	P4-A	20.00%	2011.11	1989.50	22.28%	23.25%
	P4-B	20.00%	1967.90		24.23%	
	P4-C	20.00%	2128.80	2059.93	16.62%	21.36%
	P4-D	20.00%	1991.06		26.11%	
	P4-E	20.00%	1916.61	2012.04	28.64%	25.54%
	P4-F	20.00%	2107.47		22.44%	
DISEÑO N° 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	P5-A	10.00%	2121.95	2114.07	15.44%	15.22%
	P5-B	10.00%	2106.19		14.99%	
	P5-C	10.00%	2233.12	2191.18	14.46%	16.04%
	P5-D	10.00%	2149.24		17.61%	
	P5-E	10.00%	2192.22	2143.24	16.21%	19.04%
	P5-F	10.00%	2094.26		21.87%	

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, los porcentajes de vacíos no coinciden con el teórico y es porque cada espécimen es diferente y fue elaborado de diferente manera que los otros, algunas razones podrían ser el varillado, el diámetro del agregado grueso, contenido de finos, etc.

5.5 ANALISIS DE PERMEABILIDAD

Se realizó el ensayo de Permeabilidad o Infiltración de Agua mediante el Permeámetro de Carga Variable de Neithalath para concreto permeable en estado endurecido a 28 días de curado, donde se aplicó el procedimiento según el ACI 522R-10. En la siguiente tabla se mostrará un resumen de lo calculado:

Tabla 7: Permeabilidad de los especímenes

DISEÑO	ESPECÍMENES	K (cm/s)	K prom(cm/s)
DISEÑO Nº 1 %vacíos = 15% SIN FINOS	P1-E	1.18	0.91
	P1-F	0.64	
DISEÑO Nº 2 %vacíos = 15% CON FINOS = 20%	P2-G	0.30	0.23
	P2-H	0.15	
DISEÑO Nº 3 %vacíos = 10% CON FINOS = 20%	P3-F	0.28	0.27
	P3-G	0.26	
DISEÑO Nº 4 %vacíos = 20% CON FINOS = 20%	P4-E	0.60	0.54
	P4-F	0.47	
DISEÑO Nº 5 %vacíos = 10% CON FINOS = 10%	P5-E	0.14	0.20
	P5-F	0.26	

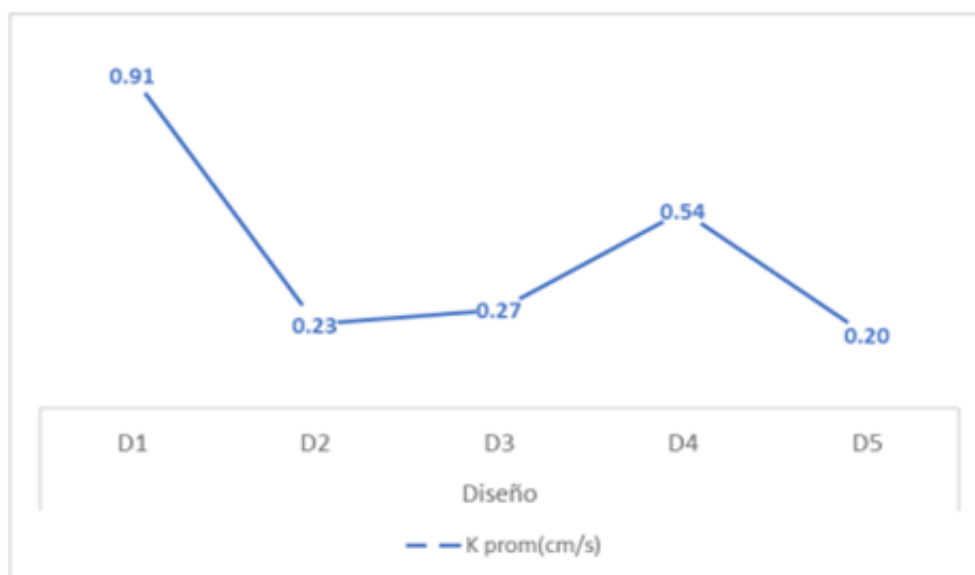
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Permeabilidad Promedio de los especímenes

K prom (cm/s)				
D1	D2	D3	D4	D5
0.91	0.23	0.27	0.54	0.20

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 21: Permeabilidad promedio con respecto al diseño de especímenes



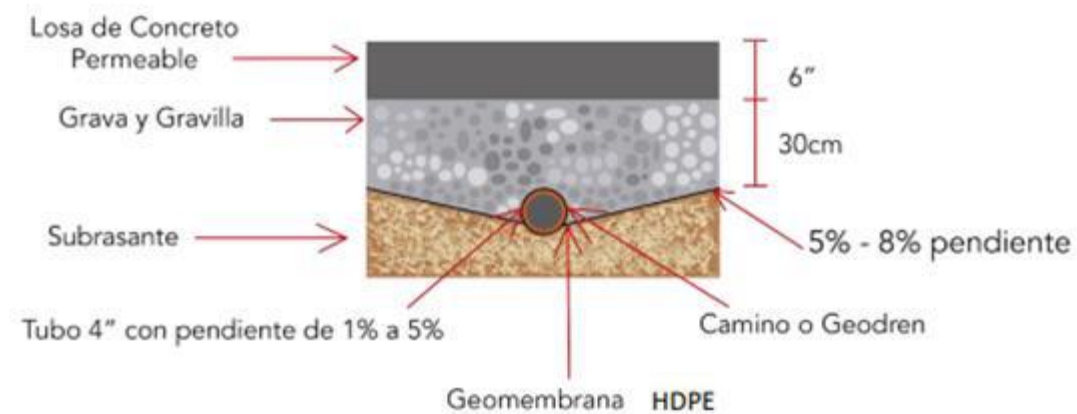
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 8 y el Gráfico 4, la permeabilidad en el Diseño 1 es la más alta que las demás debido a que solo posee agregado grueso y por ende tiene más volumen de vacíos, lo cual drena el agua a través de su estructura. El que tiene menor permeabilidad es el Diseño 5, la cual posee finos y más cemento que los otros diseños, por ende, su volumen de vacíos es inferior a los demás y no permite que se drene el agua con facilidad.

5.6 PROPUESTA DE DISEÑO CONCRETO POROSO

Se propone un diseño de Pavimento de Concreto Poroso para una pavimentación rígida, la cual es presentada mediante la siguiente ilustración:

Ilustración 22: Propuesta de Pavimento Propuesto



Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- Losa de Concreto Poroso, de 6 pulgadas de espesor o de 15 centímetros.
- Base de Grava o gravilla, que son materiales granulares que permiten la infiltración de agua a través de ellos. Dicha base tendrá de espesor 30 centímetros y con una pendiente con respecto a la sub base de 5 a 8%.

- Geomembrana HDPE, es un geosintético para la contención de desechos líquidos o sólidos. Está hecho de polímeros como el polietileno de alta intensidad (HDPE). Colocado debajo de la base a una pendiente de entre 5 a 8%, la cual permite que el agua corra hasta el tubo de drenaje sin desechos.
- Tubo de 4" con una línea de pequeñas aberturas en su superficie. Colocado con una pendiente de 1 a 5% para que fluya el agua.
- Camino o Geodren, es la abertura donde está colocado el tubo de 4".
- Subrasante, la cual puede ser un suelo natural o afirmado.

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Los resultados de la investigación fueron contrastados con la hipótesis de la misma, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

6.1.1 HIPÓTESIS GENERAL

Diseñando un Concreto Poroso según la Norma ACI 522R-10, se mejora la evacuación del drenaje pluvial.

Tabla 9: Contraste de Variables con la Hipótesis General

Variables	Contraste con la Hipótesis General
Resistencia a la Compresión	Si cumple
Resistencia a la Flexión	Si cumple
Contenido de Vacíos	Si cumple
Infiltración de Agua	Si cumple

Fuente: Elaboración Propia

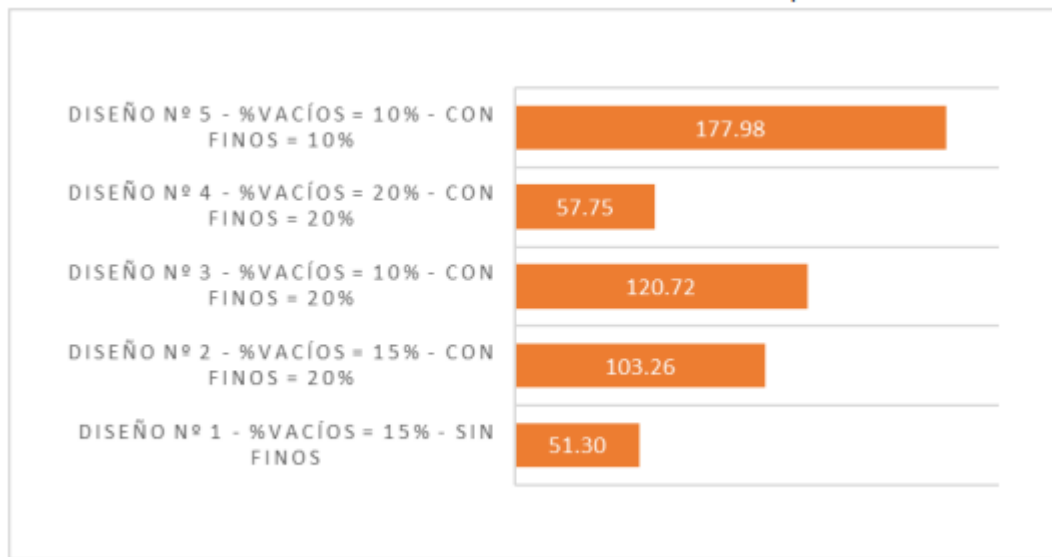
6.2 DE LOS RESULTADOS DE LAS RESISTENCIAS

Tabla 10: Resultados de Resistencia a la Compresión

Diseño	f'c (kg/cm2)
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	51.30
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	103.26
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	120.72
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	57.75
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	177.98

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 23: Resultados de Resistencia a la Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla 11 y el Gráfico 5, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido poroso, debido que al determinar la resistencia a la compresión de dicho diseño a 28 días de curado tuvo como resultado 177.98 kg/cm², cumpliendo la resistencia mínima para un pavimento especial (175 kg/cm²) y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

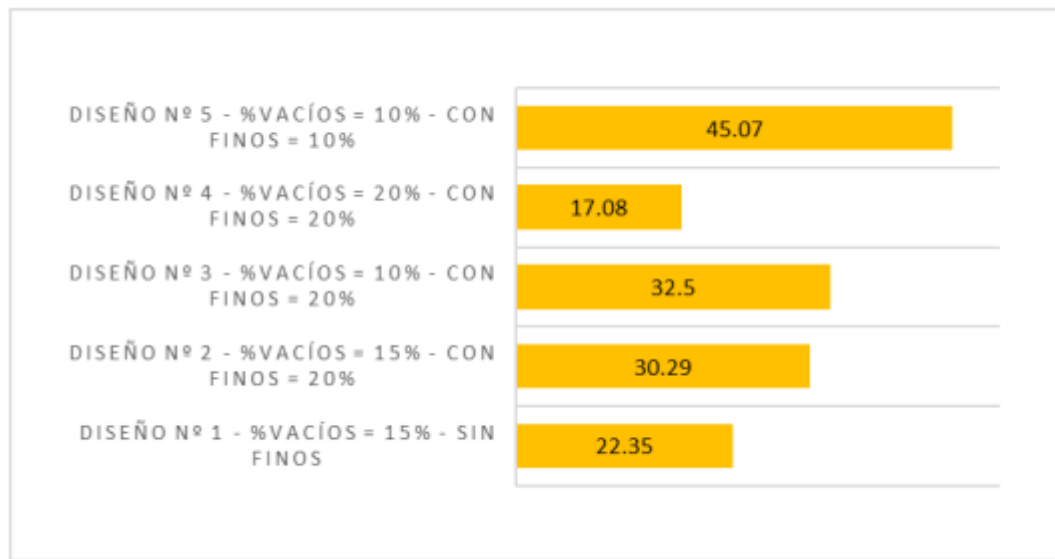
6.3 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Tabla 11: Resultados de Resistencia a la Flexión

Diseño	MR (kg/cm2)
DISEÑO N° 1 - %vacíos = 15% - SIN FINOS	22.35
DISEÑO N° 2 - %vacíos = 15% - CON FINOS = 20%	30.29
DISEÑO N° 3 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 20%	32.5
DISEÑO N° 4 - %vacíos = 20% - CON FINOS = 20%	17.08
DISEÑO N° 5 - %vacíos = 10% - CON FINOS = 10%	45.07

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 24: Resultados de Resistencia a la Flexión



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Tabla 12 y el Gráfico 6, el diseño óptimo para la elaboración de un pavimento rígido poroso, debido que al determinar la resistencia a la flexión de dicho diseño a 28 días de curado tuvo como resultado un módulo de rotura de 45.07 kg/cm², cumpliendo la resistencia mínima para un pavimento en vías locales (34 kg/cm²) y por lo tanto, cumpliendo la hipótesis específica.

6.4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se comenzó a realizar la discusión de todos los resultados que se obtuvieron tras la realización de los distintos ensayos a especímenes de Concreto Poroso, se procedió a debatir con los resultados de investigaciones anteriores y con teorías relacionadas al tema.

El diseño realizado del Concreto Poroso con gradaciones de 1/2" y 3/8", genero resultados positivos dentro de un marco para su uso en estructuras de pavimentos rígidos, será muy importante poner énfasis analizar el comportamiento de la Resistencia a la Compresión, Resistencia a la Flexión y la Permeabilidad puesto que el objetivo general de la presente Tesis fue realizar un mezcla optima de concreto poroso que cumpla con propiedades

mecánicas e hidráulica aceptables para su aplicación en una estructura de pavimento rígido.

Los resultados a compresión de la etapa experimental, en principio no fueron los esperados. Luego, a partir de la serie K, se logró un aumento importante en los valores de resistencia a compresión, llegando a 32 MPa a la edad de 28 días para dicha serie. En la etapa experimental se lograron valores de resistencia a compresión dentro de valores típicos a pesar de la disminución de la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón y el aumento de la relación pasta/agregado. Además, se observó que mejoró la resistencia a compresión en las mezclas que contenían agregado fino.

La determinación de la resistencia a tracción por flexión generalmente está sujeta a importante variabilidad, por lo que es común medir la resistencia a compresión y usar relaciones empíricas para estimar su valor.

Al no existir una relación simple entre la resistencia del hormigón a la compresión y su resistencia a la tracción, los esfuerzos de los investigadores se han orientado hacia la determinación de una aceptable correlación entre estos dos tipos de solicitaciones.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Los diseños que no tienen agregado fino son los que tienen poca resistencia a la compresión y flexión. Este es el caso del Diseño 1 propuesto, que tuvo una resistencia a la compresión y a la flexión a los 28 días de 51.3 kg/cm² y MR = 22.35 kg/cm².
- Los diseños que poseen agregado fino son superiores en cuanto a soportar esfuerzos se refiere, pero obstruyen los vacíos. En ese sentido, los agregados finos disminuyen la permeabilidad, pero ayudan al concreto a ganar resistencia.
- Los diseños con alto contenido de vacíos tienen una buena permeabilidad, como el caso del Diseño 1 que posee una permeabilidad de 0.91 cm/s, pero tienen baja resistencia.
- El requisito mínimo de resistencia a la compresión para pavimentos especiales (aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías) según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de 175 kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con la resistencia a los 28 días (177.98 kg/cm²).
- El requisito mínimo de módulo de rotura para pavimentos en vías locales según la norma C.E 010 – Pavimentos Urbanos, es de MR = 34 122 kg/cm², por lo que el Diseño 5 si cumple con el módulo de rotura a los 28 días (45.07 kg/cm²).
- El coeficiente de permeabilidad de un concreto permeable posee un rango entre 0.20 y 0.54 cm/s, por lo que el Diseño 5 pertenece a dicho rango, obteniendo un coeficiente de permeabilidad de 0.20 cm/s.

7.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un varillado correctamente para la elaboración de las probetas para los ensayos normalizados de compresión y de flexión, debido a que influye en el resultado de los esfuerzos, ya que no genera una superficie de contacto adecuada para ensayarlo en la prensa.
- Incluir agregado fino a los diseños, debido a que aumenta la resistencia de compresión y de flexión. Se puede utilizar porcentajes de agregado fino tales como 10 y 20% con respecto a la cantidad de agregado grueso, según la norma ACI 522R-10.
- Verificar que el contenido de cemento esté en los rangos adecuados que brinda la norma ACI 522R-10, ya que influye en los resultados de compresión y de flexión.
- Verificar que los equipos de laboratorio estén operativos y calibrados, ya que de lo contrario el no cumplir con los días de rotura, puede perjudicar los resultados esperados.
- Emplear aditivos retardantes de fragua, debido a que la mezcla de concreto permeable recién hecha tiende a secarse con mucha rapidez. 124 6) Tener conocimientos de mecánica de fluidos para la elaboración del permeámetro de carga variable.
- Se recomienda también a las autoridades políticas, a tomar conciencia de las decisiones que van a tomar en lo que respecta a la elección del tipo de pavimento ya que esto constituye un hecho fundamental para realizar una buena inversión.
- La presente tesis comprende solo la determinación de la resistencia a la rotura y permeabilidad, por lo que se recomienda realizar otros ensayos para la determinación de sus demás propiedades y sus posibles aplicaciones en otras estructuras.

CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BENITES Bustamante, Juan. Características Físicas y Mecánicas del Concreto Permeable usando Agregados de la Cantera Río Jequetepeque y El Aditivo Chemaplast. Tesis (Título Profesional). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2014. 80 pp.
- [2] Castro Fresno, D., Rodríguez Hernández, J., Bayón, J., & Ballester Muñoz, F. (2005). "Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)" Revista Inter ciencia, pp. 255.
- [3] Cruz-Palafoz, C., Segovia-López, A., Gonzales Sandoval, M., Lizárraga Mendiola, L., Olguín Coca, J., & Rangel Martínez, Y. (2014). Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua / A pervious concrete. México DF.
- [4] FLORES Quispe, Cesar y PACOMPIA Calcina Iván. Diseño de Mezcla de Concreto Permeable con Adición de Tiras de Plástico para Pavimentos F'c 175 Kg/Cm² en la ciudad de Puno. Tesis (Título Profesional). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2015. 286 pp.
- [5] GUIZADO Barrios, Agneth y CURTI Grados, Elvis. Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú. Tesis (Título Profesional). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017. 120 pp.
- [6] NTP 339.183. (2013). CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. Norma Técnica Peruana.
- [7] PÉREZ Gordillo, Johan. Influencia de la Granulometría del Agregado Grueso en las Propiedades Mecánicas e Hidráulicas de un Concreto Permeable, Trujillo 2017. Tesis (Título Profesional). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2017. 150 pp.

[8] RODRIGUEZ, Ángel. Pavimentos Permeables. 2°. Ed. Divul: Universidad Autónoma del Estado de México, 2015. 173 pp.

[9] TRUJILLO López, Alejandra y QUIROZ Lasprilla, Diana. Pavimentos Porosos Utilizados como Sistemas Alternativos al Drenaje Urbano. Tesis (Título Profesional). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013. 114 pp.

[10] DISEÑO HIDRÁULICO DE LOSAS EN PAVIMENTO POROSO RÍGIDO COMO ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS AL DRENAJE PLUVIAL DE BOGOTÁ, ÁNGELA MARÍA POLANCO ANDRADE, ÁNGELA MARÍA SÁNCHEZ VEGA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA – 2012.

[11] RODRIGUEZ, ÁNGEL. PAVIMENTOS PERMEABLES. 2°. ED. DIVUL: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO, 2015. 173 PP.

[12] CONTROL DE ESCORRENTÍAS URBANAS MEDIANTE PAVIMENTOS PERMEABLES: APLICACIÓN EN CLIMAS MEDITERRÁNEOS, GARCÍA HABA EDUARDO, UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA – 2011.

CAPÍTULO IX: ANEXOS

ANEXO 01

FICHA DEL CONTEIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra		
Nº de la Tara	:	-
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	3021.00
Peso de la tara (gr.)	:	339.50
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	3360.50
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	3331.00
Peso del agua (gr.)	:	29.50
Peso del suelo seco (gr.)	:	2991.50
Contenido de humedad (%)	:	0.99

ANEXO 02

FICHA DEL CONTEIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Arena
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra		
Nº de la Tara	:	7-B
Peso del Suelo húmedo (gr.)	:	50.00
Peso de la tara (gr.)	:	28.22
Peso de la tara + Suelo húmedo (gr.)	:	78.22
Peso de la tara + Suelo seco (gr.)	:	77.91
Peso del agua (gr.)	:	0.31
Peso del suelo seco (gr.)	:	49.69
Contenido de humedad (%)	:	0.62

ANEXO 03

FICHA TECNICA DEL ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO

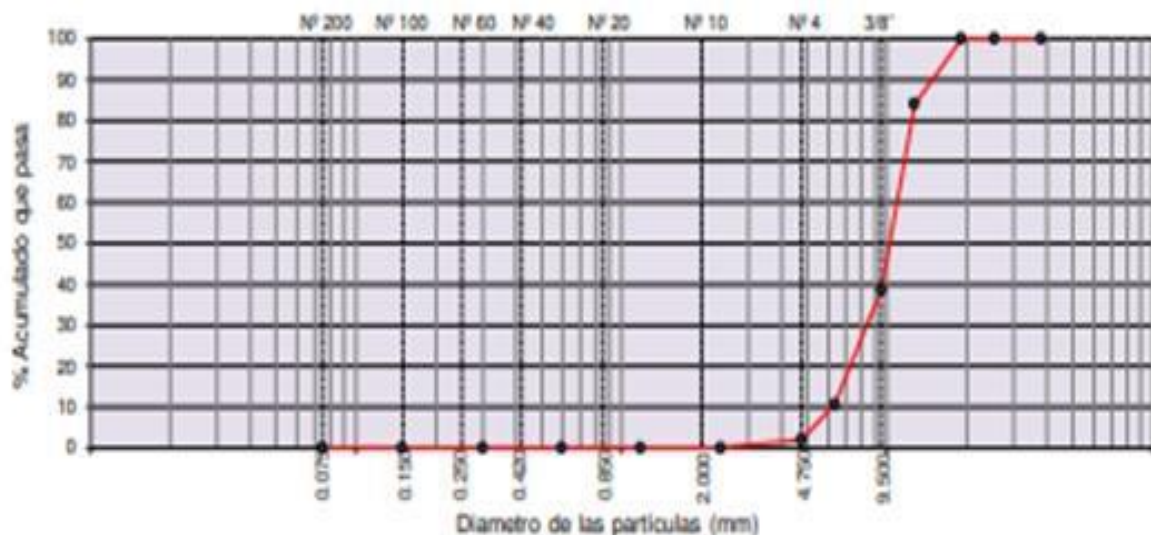
Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1"	25.40	480.00	16.00	16.00	84.00	90 a 100
3/4"	19.05	1360.00	45.33	61.33	38.67	20 a 55
1/2"	12.70	840.00	28.00	89.33	10.67	0 a 10
3/8"	9.53	260.00	8.67	98.00	2.00	0 a 5
1/4"	6.35	60.00	2.00	100.00	0.00	
Nº 4	4.75	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 8	2.36	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00	
Nº 200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00	
< Nº 200		0.00	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		3000.00	100.00			

Datos generales	
Datos de la Muestra	
Muestra :	Piedra
Procedencia :	Cantera de Musa
Profundidad :	Desconocida
Huso :	5
TMN :	
ASTM D 2488	
"Descripción e identificación de suelos"	
% Grava =	100.00
% Arena =	0.00
% Finos =	0.00
ASTM D 2216	
Húmedad Natural (%) =	0.99
ASTM D 4318-(05)	
"Límite de Atterberg"	
Límite Líquido (%) =	N.P
Límite Plástico (%) =	N.P
Ind. de Plasticidad (%) =	N.P

Clasificación	
S.U.C.S	GP
AASHTO	A-1-a (0)
GP: Grava mal graduada	



ANEXO 04

FICHA TECNICA DEL ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO

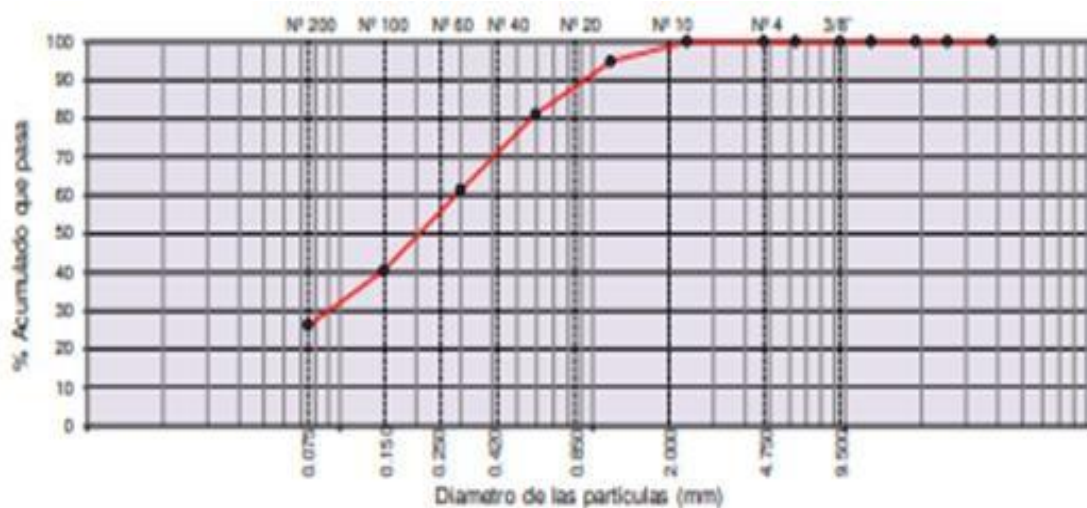
Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

Tamiz	Abert. (mm)	Peso ret. (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q' Pasa	ASTM C-33
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
Nº 4	4.75	25.62	5.12	5.12	94.88	95 a 100
Nº 8	2.36	68.78	13.76	18.88	81.12	80 a 100
Nº 16	1.18	99.37	19.87	38.75	61.25	50 a 85
Nº 30	0.60	104.53	20.91	59.66	40.34	25 a 60
Nº 50	0.30	71.04	14.21	73.87	26.13	5 a 30
Nº 100	0.15	73.62	14.72	88.59	11.41	0 a 10
Nº 200	0.075	35.64	7.13	95.72	4.28	0 a 5
< Nº 200		21.40	4.28	100.00	0.00	
TOTAL		500.00		100.00		

Datos generales	
Datos de la Muestra	
Muestra	: Arena
Procedencia	: Cantera de Musa
Profundidad	: Desconocida
Huso	: -
TMN	: Nº 4
ASTM D 2488	
"Descripción e identificación de suelos"	
% Grava	= 5.12
% Arena	= 90.60
% Finos	= 4.28
ASTM D 2216	
Humedad Natural (%)	= 0.62
ASTM D 4318-(05)	
"Limite de Atterberg"	
Limite Líquido (%)	= N.P
Limite Plástico (%)	= N.P
Ind. de Plasticidad (%)	= N.P

Clasificación	
S.U.C.S	SP
AASHTO	A-3
SP: Arena pobremente graduada	



ANEXO 05

FICHA TECNICA DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y BSORCION DEL AGREGADO GRUESO

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Densidad		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Gravedad Especifica	:	2.73
Densidad (kg./m3)	:	2730.23

ANEXO 06

FICHA TECNICA DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO - PESO ESPECIFICO

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Densidad		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Gravedad Especifica	:	2.73
Densidad (kg./m ³)	:	2730.23

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Porcentaje de Absorción	:	0.41%

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa		
Peso de la tara (gr.)	:	349.00
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	3021.00
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr.)	:	3033.50
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	1927.00
Gravedad Especifica	:	2.76
Densidad Relativa (kg./m ³)	:	2761.43

ANEXO 07

FICHA TECNICA DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO - PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Arena
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Densidad		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Gravedad Especifica	:	2.54
Densidad (kg./m3)	:	2537.49

Descripción de la Muestra - Porcentaje de Absorción		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Porcentaje de Absorción	:	0.53%

Descripción de la Muestra - Densidad Relativa		
Peso de Picnómetro (gr.)	:	198.57
Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr.)	:	496.79
Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire(gr.)	:	499.42
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	:	303.64
Gravedad Especifica	:	2.57
Densidad Relativa (kg./m3)	:	2572.04

ANEXO 08

FICHA TECNICA DEL PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano

Tony Cachique Chujutalli

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Piedra
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm3)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m3)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	21.02
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1472.00

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	7245.00
Volumen de la tara (cm3)	:	9358.00
Peso de la tara (kg.)	:	7.245
Volumen de la tara (m3)	:	0.009358
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	22.24
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1602.37

ANEXO 09

FICHA TECNICA DEL PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano

Tony Cachique Chujutalli

Datos de la Muestra		
Muestra	:	Arena
Procedencia	:	Cantera de Musa
Profundidad	:	Desconocida

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Suelto		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm3)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m3)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.48
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1723.71

Descripción de la Muestra - Peso Unitario Compactado		
Peso de la tara (gr.)	:	2726.00
Volumen de la tara (cm3)	:	2758.00
Peso de la tara (kg.)	:	2.726
Volumen de la tara (m3)	:	0.002758
Peso de la tara + Suelo (kg.)	:	7.82
Peso Unitario del Suelo (kg./m3)	:	1846.99

ANEXO 10

CLASIFICACIÓN REQUERIDA PARA EL AGREGADO GRUESO

Tesis: DISEÑO DE PAVIMENTO UTILIZANDO CONCRETO POROSO, PARA EL CONTROL DEL DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN

Tesistas: Claudia Saboya Olano
Tony Cachique Chujutalli

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 ½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 ½ a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 ½ a 1 ½ in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 ½ a ¾ in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a ½ in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (¾ a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (¾ in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (½ in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5